



M 2016

AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE AO AR ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS E DA PORTA VENTILADORA

MARIANA FONTOURA MOREIRA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE AO AR ATRAVÉS DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHOS E DA PORTA VENTILADORA

MARIANA FONTOURA MOREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Eva Sofia Botelho Machado Barreira
(Orientadora)

Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida
(Coorientador)

JANEIRO 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-5081446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-5081440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais que sempre me ajudaram a superar as minhas deceções e aplaudiram as
minhas conquistas

*“O Mundo é para quem nasce para o conquistar
e não para quem sonha que o pode conquistar,
ainda que tenha razão.”
Fernando Pessoa*

AGRADECIMENTOS

Findada esta fase da minha vida não posso deixar de fazer um pequeno agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam e me ajudaram direta e indiretamente neste longo percurso académico.

Começo por agradecer à minha orientadora Professora Doutora Eva Barreira e ao meu coorientador Professor Doutor Ricardo Almeida, pela dedicação, incentivo e apoio prestado durante estes meses de trabalho.

O meu agradecimento ao Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pelo fornecimento dos equipamentos utilizados para a realização dos ensaios da Câmara Termográfica e da Porta Ventiladora.

Um obrigado aos meus colegas de faculdade por toda a partilha de conhecimento ao longo destes anos, em especial à minha amiga Isabel Joana por todo o seu companheirismo e amizade genuína.

O meu agradecimento aos meus amigos do básico e secundário, criamos laços de amizade para uma vida. Em especial aos meus amigos Sara Rosas e João Mendonça que sempre foram os meus fiéis companheiros de estudo.

Agradeço também ao meu namorado pela paciência, pelo apoio e pela alegria proporcionada todos os dias, dando-me sempre força para nunca desistir.

Um muito obrigado a toda a minha Família por sempre acreditarem em mim e sempre se mostrarem interessados no meu sucesso.

E um obrigado muitíssimo especial aos Meus Pais e ao meu Irmão, que são as pessoas mais importantes na minha vida. Obrigada por tudo que me ensinaram, pelo apoio e amor incondicional e por estarem sempre dispostos a ajudar-me em tudo na vida. Espero que esta etapa, que agora termino, possa gratificar e compensar todo o carinho e dedicação que me ofereceram. A eles, dedico todo este trabalho.

RESUMO

A estanqueidade ao ar é a resistência de uma construção a infiltrações ou exfiltrações de ar não intencionais através da envolvente. Uma boa estanqueidade é determinante para um bom desempenho energético do edifício. O correto balanço entre a estanqueidade e a ventilação assume uma importância central pois um espaço deve ser suficientemente estanque de modo a proporcionar conforto e gastos mínimos, mas também deve existir uma ventilação mínima de modo a manter-se os requisitos mínimos de qualidade do ar.

Mais recentemente tem-se investigado o desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos experimentais para a deteção e quantificação das infiltrações de ar, uma vez que existe uma necessidade crescente de se quantificar as trocas de ar pela envolvente do edifício. A termografia de infravermelhos é um dos métodos experimentais utilizados em Engenharia Civil baseando-se geralmente numa avaliação qualitativa e mais superficial dos resultados. Contudo, tem havido uma tentativa de implementar metodologias de interpretação quantitativas que garantam resultados mais fiáveis.

A utilização da termografia para detetar as infiltrações de ar num compartimento exige que haja um diferencial de pressão e de temperatura entre o interior e exterior. De maneira a criar-se diferenciais de pressão que permitam ter resultados mais credíveis, recorre-se à porta ventiladora.

A presente dissertação tem como principal objetivo a exploração das potencialidades da Termografia de infravermelhos para avaliação e quantificação da estanqueidade ao ar de um compartimento. São avaliados diferentes procedimentos para os ensaios termográficos e é feita a sua repetição de modo a analisar-se a variabilidade dos resultados obtidos para diferentes condições ambientais e climatéricas. Também é avaliado o efeito de diferentes diferenciais de pressão nos resultados dos ensaios termográficos.

Todos os resultados obtidos nos ensaios são organizados em diferentes secções relacionadas com a termografia ativa, termografia passiva e ensaios de despressurização. Dentro de cada secção é realizada uma análise qualitativa e quantitativa, sendo que esta última inclui: a realização de gráficos de evolução das variáveis em análise, uns em função do diferencial de pressão e outros em função do tempo e respetiva expressão matemática que aproxima a evolução dos dados; construção de tabelas de resumo de resultados e das condições em que foram obtidos; matrizes de correlação; análise estatística.

Por último, serão indicadas as principais conclusões e a sugestão de possíveis desenvolvimentos futuros para o enriquecimento do tema em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: estanqueidade, termografia de infravermelhos, porta ventiladora, ensaios de despressurização.

ABSTRACT

Airtightness is the building's resistance to inward or outward air leakage through unintentional leakage points from its surroundings. The airtightness of a building is crucial for its good energy performance. The correct balance between airtightness and ventilation takes on a central importance in construction. If on one hand, a house must be airtight to create the desired level of comfort and energetic performance, it is essential to have a minimal ventilation level in order to achieve the adequate air quality requisits.

Recent times saw the birth and development of experimental methods for the detection and quantification of air infiltrations. This development encompasses the evergrowing need of an accurate quantification of the air changes in the building's surroundings. Infrared thermography is one of the experimental methods used in Civil Engineering, drawing their conclusions from a somewhat more superficial and qualitative result analysis. There have been, however, attempts to establish interpretative methodologies based on quantitative analysis which reach much more accurate results.

The use of Thermography for the detection of air leakages in a compartment requires the existence of an imbalance of pressure and temperature between indoors and outdoors' areas to create different pressure variables in order to improve the accuracy of results, one introduces the ventilation door.

The main objective of this dissertation is to explore the potential of infrared thermography for the evaluation and quantification of airtightness in a specific compartment. Different thermography test procedures are evaluated and conducted again in order to gain insight into the variability of test results obtained in different environmental and climatic conditions. The dissimilar pressure differentials and their effect in shaping the thermography test's results are also evaluated.

All the acquired results are organised in different sections. These are related to active thermography, passive thermography and depressurisation tests. each section contains a qualitative and quantitative analysis. The latter includes the statistical evolution of tested variables by the means of graphics – some under the pressure differential whilst the others under the time differential – and their mathematical expression, which makes the bridge between the data's results and their evolution. It also includes statistical tables with summaries of the results and the surroundings and conditions that shaped them. Correlation matrices and statistical analysis are also present in this dissertation.

At last, it presents the main conclusions on the theme and suggestions for possible future developments in the subject.

Key- words: Airtightness, ventilation, thermography, ventilation door, depressurisation trials.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DO TRABALHO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	1
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO	2
2. ESTANQUEIDADE AO AR EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO – ENSAIO DE TERMOGRAFIA E PORTA VENTILADORA.....	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. ESTANQUEIDADE VS VENTILAÇÃO	4
2.3. TERMOGRAFIA.....	6
2.3.1. DEFINIÇÃO DE TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHOS	6
2.3.2. TERMOGRAFIA EM EDIFÍCIOS	8
2.3.3. TERMOGRAFIA ATIVA E PASSIVA	9
2.3.4. TRABALHOS RELACIONADOS	10
2.4. DESCRIÇÃO DO ENSAIO DA PORTA VENTILADORA	11
2.5. UTILIZAÇÃO SIMULTÂNEA DA TERMOGRAFIA E DA PORTA VENTILADORA	16
3. METODOLOGIA.....	19
3.1. OBJETIVOS E METODOLOGIA	19
3.2. CASO DE ESTUDO.....	20
3.3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO	21

3.3.1. EQUIPAMENTO UTILIZADO	21
3.3.2. PROCEDIMENTOS PRELIMINARES	22
3.3.3. ENSAIOS TERMOGRÁFICOS COM DESPRESSURIZAÇÃO DO ESPAÇO EM ESTUDO	24
3.3.4. ENSAIO DE DESPRESSURIZAÇÃO	28

4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS31

4.1. ENSAIOS TERMOGRÁFICOS COM DESPRESSURIZAÇÃO - TERMOGRAFIA ATIVA..... 31

4.1.1. METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DOS RESULTADOS	31
4.1.2. JANELA EM VISTA FRONTAL COM AQUECIMENTO DA PAREDE - JFCA	34
4.1.3. ROLDANA INFERIOR DA FITA DE ESTORE EM VISTA LATERAL COM AQUECIMENTO DO PAINEL DE BAIXA CONDUCTIBILIDADE TÉRMICA - RLCA	42
4.1.4. ROLDANA INFERIOR DA FITA DE ESTORE EM VISTA FRONTAL COM AQUECIMENTO DE CARTOLINA - RFCAC 48	
4.1.5. CANTO SUPERIOR DIREITO DA JANELA EM VISTA FRONTAL COM AQUECIMENTO DO PAINEL DE BAIXA CONDUCTIBILIDADE TÉRMICA – CFCAC	60
4.1.6. JANELA EM VISTA LATERAL COM AQUECIMENTO DA CARTOLINA – JLCAC	65

4.2. ENSAIOS TERMOGRÁFICOS COM DESPRESSURIZAÇÃO - TERMOGRAFIA PASSIVA..... 66

4.2.1. METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DOS RESULTADOS	66
4.2.2. JANELA EM VISTA FRONTAL SEM AQUECIMENTO DA PAREDE - JFSA.....	66
4.2.3. CANTO SUPERIOR DIREITO DA JANELA EM VISTA FRONTAL SEM AQUECIMENTO DO PAINEL DE BAIXA CONDUCTIBILIDADE TÉRMICA - CFSa	72
4.2.4. ROLDANA INFERIOR DA FITA DE ESTORE EM VISTA LATERAL SEM AQUECIMENTO DO PAINEL DE BAIXA CONDUCTIBILIDADE TÉRMICA - RLSA.....	75
4.2.5. JANELA EM VISTA LATERAL SEM AQUECIMENTO DA PAREDE/CAIXILHARIA - JLSA	79
4.2.6. ROLDANA INFERIOR DA FITA DE ESTORE EM VISTA FRONTAL SEM AQUECIMENTO DA CARTOLINA - RFSA 80	

4.3. ENSAIOS DE DESPRESSURIZAÇÃO 81

4.3.1. METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DOS RESULTADOS	81
4.3.2. ENSAIOS DE DESPRESSURIZAÇÃO (NS, SR E SC).....	81

4.4. AVALIAÇÃO EXPLORATÓRIA DA ANÁLISE AVANÇADA DE RESULTADOS 88

4.5. SÍNTESE CRÍTICA..... 91

5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	95
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	97
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 99

ANEXOS

ANEXO I – FOLHA DE PLANEAMENTO DE ENSAIOS

ANEXO II – FICHA DE ENSAIO GERAL

ANEXO III - FICHAS DE ENSAIOS INDIVIDUAIS: ENSAIOS TERMOGRÁFICOS

ANEXO IV - FICHAS DE ENSAIOS INDIVIDUAIS: ENSAIOS DE DESPRESSURIZAÇÃO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Câmara termográfica.....	6
Figura 2.2. a) Localização de elementos estruturais não aparentes em edifícios [14]; b) Identificação de pontes térmicas em fachadas de edifícios [14]	8
Figura 2.3. a) Identificação de portas e janelas permitindo a passagem de ar [14]; b) Identificação de sistemas de aquecimento em pavimentos [14]	9
Figura 2.4. Aquecimento da parede e gráfico de evolução da temperatura [17]	10
Figura 2.5. Termograma de edifício comercial [18]	11
Figura 2.6. Porta Ventiladora.....	12
Figura 2.7. Resultados obtidos no ensaio [19]	14
Figura 2.8. Visualização de fluxo [24]	17
Figura 2.9. Anemómetro [26]	17
Figura 3.1. Edifício da habitação em estudo	20
Figura 3.2. Compartimento de estudo.....	21
Figura 3.3. Porta ventiladora	21
Figura 3.4. a) Câmara termográfica – Thermo Tracer TH9100 Series; b) Aquecedor de infravermelhos	22
Figura 3.5. Imagem térmica e visível da folha de alumínio	23
Figura 3.6. Determinação da temperatura refletida	24
Figura 3.7. Janela em vista frontal.....	26
Figura 3.8. a) Posição da câmara termográfica; b) Janela em vista lateral; c) Janela em vista lateral com cartolina preta	26
Figura 3.9. a) Posição da câmara termográfica; b) Roldana inferior da fita de estore em vista frontal; c) Roldana inferior da fita de estore em vista frontal com cartolina à frente.....	27
Figura 3.10. a) Posição da câmara termográfica; b) Roldana inferior da fita de estore em vista lateral	27
Figura 3.11. a) Posição do tripé; b) Canto superior direito da caixilharia em vista frontal.....	27
Figura 3.12. Introdução de dados no programa FanTestic	28
Figura 3.13. Quadro final de resumo de resultados (ficheiro 13Nov_NS)	28
Figura 3.14. a) Roldana inferior da fita de estore selada; b) Caixilharia selada.....	29

Figura 4.1. Zona selecionada para análise dos dados nos ensaios JFca	35
Figura 4.2. Sequência de imagens térmicas do ensaio JFca no dia 13 de Novembro.....	35
Figura 4.3. Histograma do número de <i>pixels</i> em função da temperatura para diferentes diferenciais de pressão – Ensaio JFca de dia 13 de Novembro.....	36
Figura 4.4. Número de <i>pixels</i> acima de 28 °C vs Pressão induzida – Ensaio JFca de dia 13 de Novembro	37
Figura 4.5. Nº de <i>pixels</i> acima da T _{Ref} vs Pressão induzida para os ensaios JFca: a) 20 de Outubro (T _{Ref} =32°C); b) 2 de Novembro (T _{Ref} =27°C); c) 13 de Novembro (T _{Ref} =28°C); d) 27 de Novembro_1 (T _{Ref} =24°C); e) 27 de Novembro_2 (T _{Ref} =21°C); f) 15 de Dezembro_1 (T _{Ref} =24°C); g) 15 de Dezembro_2 (T _{Ref} =26°C); h) 21 de Dezembro (T _{Ref} =23°C).....	38
Figura 4.6. Sequência de imagens da JFca no dia 20 de Outubro	39
Figura 4.7. Sequência de imagens da JFca no dia 2 de Novembro.....	40
Figura 4.8. Sequência de imagens térmicas da JFca no dia 27 de Novembro_2.....	41
Figura 4.9. Zona selecionada para análise dos dados nos ensaios RLca.....	43
Figura 4.10. Sequência de imagens térmicas do ensaio RLca no dia 21 de Dezembro	43
Figura 4.11. Nº de <i>pixels</i> acima da T _{Ref} vs Pressão induzida para os ensaios RLca: a) 2 de Novembro (T _{Ref} =34°C); b) 13 de Novembro (T _{Ref} =35°C); c) 27 de Novembro_1 (T _{Ref} =28°C); d) 27 de Novembro_2 (T _{Ref} =33°C); e) 15 de Dezembro_1 (T _{Ref} =31°C); f) 15 de Dezembro_2 (T _{Ref} =30°C); g) 21 de Dezembro (T _{Ref} =31°C).....	45
Figura 4.12. Sequência de imagens térmicas do ensaio RLca no dia 13 de Novembro	46
Figura 4.13. Sequência de imagens térmicas do ensaio RLca no dia 27 de Novembro_1	47
Figura 4.14. Zona selecionada para análise de resultados dos ensaios RFcac	48
Figura 4.15. Sequência de imagens térmicas do ensaio RFcac no dia 27 de Novembro_1 (diferencial de pressão de 89Pa)	49
Figura 4.16. Sequência de imagens térmicas do ensaio RFcac no dia 27 de Novembro_1 (diferencial de pressão de 175Pa)	50
Figura 4.17. Evolução da temperatura média para o ensaio RFcac – Dia 27 de Novembro _1 ($\Delta p=89Pa$)	51
Figura 4.18. Evolução da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac – Dia 27 de Novembro _1 ($\Delta p=89Pa$).....	52
Figura 4.19. Evolução da temperatura média para o ensaio RFcac (diferenciais de pressão moderados): a) 20 de Outubro ($\Delta p=79Pa$); b) 2 de Novembro ($\Delta p=78Pa$); c) 13 de Novembro ($\Delta p=86Pa$); d) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=89Pa$); e) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=87Pa$); f) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=80Pa$); g) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=88Pa$); h) 21 de Dezembro ($\Delta p=80Pa$).....	53
Figura 4.20. Evolução da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac (diferenciais de pressão moderados): a) 20 de Outubro ($\Delta p=79Pa$); b) 2 de Novembro ($\Delta p=78Pa$); c) 13 de Novembro	

($\Delta p=86\text{Pa}$); d) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=89\text{Pa}$); e) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=87\text{Pa}$); f) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=80\text{Pa}$); g) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=88\text{Pa}$); h) 21 de Dezembro ($\Delta p=80\text{Pa}$)55

Figura 4.21. Evolução da Temperatura média para o ensaio RFcac (diferenciais de pressão elevados): a) 20 de Outubro ($\Delta p=205\text{Pa}$); b) 2 de Novembro ($\Delta p=170\text{Pa}$); c) 13 de Novembro ($\Delta p=177\text{Pa}$); d) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=175\text{Pa}$); e) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=176\text{Pa}$); f) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=172\text{Pa}$); g) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=172\text{Pa}$); h) 21 de Dezembro ($\Delta p=170\text{Pa}$)56

Figura 4.22. Evolução da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac (diferenciais de pressão elevados): a) 20 de Outubro ($\Delta p=205\text{Pa}$); b) 2 de Novembro ($\Delta p=170\text{Pa}$); c) 13 de Novembro ($\Delta p=177\text{Pa}$); d) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=175\text{Pa}$); e) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=176\text{Pa}$); f) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=172\text{Pa}$); g) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=172\text{Pa}$); h) 21 de Dezembro ($\Delta p=170\text{Pa}$).....57

Figura 4.23. Zona seleccionada para análise de resultados para os ensaios CFcac60

Figura 4.24. Sequência de imagens térmicas do ensaio CFcac no dia 27 de Novembro_1 (diferencial de pressão de 66Pa)61

Figura 4.25. Evolução da temperatura média para o ensaio CFcac: a) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=66\text{Pa}$); b) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=71\text{Pa}$); c) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=62\text{Pa}$); c) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=63\text{Pa}$); e) 21 de Dezembro ($\Delta p=60\text{Pa}$).....62

Figura 4.26. Evolução da taxa de arrefecimento para o ensaio CFcac: a) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=66\text{Pa}$); b) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=71\text{Pa}$); c) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=62\text{Pa}$); c) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=63\text{Pa}$); e) 21 de Dezembro ($\Delta p=60\text{Pa}$).....63

Figura 4.27. Sequência de imagens térmicas da JLCac no dia 2 de Novembro65

Figura 4.28. Áreas de influência definidas para o ensaio JFsa: Caixas A, B e C67

Figura 4.29. Sequência de imagens térmicas do ensaio JFsa no dia 27 de Novembro_267

Figura 4.30. Evolução da temperatura média das três caixas – Ensaio JFsa no dia 27 de Novembro_269

Figura 4.31. Evolução da temperatura média da Caixa A definida para o ensaio JFsa: a) 2 de Novembro; b) 27 de Novembro_2; c) 21 de Dezembro70

Figura 4.32. Evolução da temperatura interior com o início dos ensaios - 2 de Novembro71

Figura 4.33. Evolução da temperatura superficial na Caixa A e nas novas caixas B e C (fora da área de influência da infiltração) no ensaio JFsa no dia 2 de Novembro72

Figura 4.34. Áreas de influência definidas para o ensaio CFsa: Caixas A, B e C.....73

Figura 4.35. Sequência de imagens térmicas do ensaio CFsa no dia 21 de Dezembro.....73

Figura 4.36. Evolução da temperatura média da Caixa A definida para o ensaio CFsa no dia 21 de Dezembro75

Figura 4.37. Posição da nova Caixa A (fora a área de influência da infiltração) para o ensaio CFsa ..75

Figura 4.38. Linhas de influência definidas para o ensaio RLsa: Linhas A, B e C.....76

Figura 4.39. Sequência de imagens térmicas do ensaio RLsa no dia 27 de Novembro_276

Figura 4.40. Evolução da temperatura média da Caixa A definida para o ensaio RLsa nos dias: a) 2 de Novembro; b) 27 de Novembro_2; c) 21 de Dezembro	78
Figura 4.41. Sequência de imagens térmicas do ensaio JLsa no dia 2 de Novembro.....	79
Figura 4.42. Sequência de imagens térmicas do ensaio RFsa no dia 13 de Novembro.....	80
Figura 4.43. Gráfico final da evolução do caudal em função do diferencial de pressão - NS.....	87
Figura 4.44. Tratamento da matriz de pontos em <i>Matlab</i> : a) Termograma nº1 em visualização 2D; b)Termograma nº1 em visualização 3D.....	88
Figura 4.45. Tratamento da matriz de pontos em <i>Matlab</i> : a) Termograma nº2 em visualização 2D; b)Termograma nº2 em visualização 3D.....	88
Figura 4.46. Subtração dos termogramas em <i>Matlab</i> sem ajuste de posição	89
Figura 4.47. Subtração dos termogramas em <i>Matlab</i> com ajuste de posição	90
Figura 4.48. Subtração dos termogramas em <i>Matlab</i> com ajuste de posição e com aplicação de filtro	90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Valores tabelados para a emissividade de alguns materiais [11]	7
Tabela 3.1. Dimensões do compartimento em estudo	20
Tabela 3.2. Referências e descrição dos ensaios	24
Tabela 3.3. Referências e datas dos ensaios	25
Tabela 4.1. Tabela realizada para o ensaio JFca do dia 13 de Novembro	36
Tabela 4.2. Temperaturas exterior e interior, temperatura de referência e parâmetros de ajuste da função de aproximação para todos os ensaios JFca realizados.....	38
Tabela 4.3. Correlação entre a temperatura de referência e as temperaturas exterior e interior para os ensaios JFca.....	42
Tabela 4.4. Temperaturas exterior e interior, temperatura de referência e parâmetros de ajuste da função de aproximação para todos os ensaios RLca realizados.....	45
Tabela 4.5. Correlação entre a temperatura de referência e as temperaturas exterior e interior para os ensaios RLca	47
Tabela 4.6. Valores obtidos no tratamento dos resultados do ensaio RFcac do dia 27 de Novembro_1 ($\Delta p=89\text{Pa}$) – temperatura média.....	51
Tabela 4.7. Valores obtidos no tratamento dos resultados do ensaio RFcac do dia 27 de Novembro_1 ($\Delta p=89\text{Pa}$) – taxa de arrefecimento	51
Tabela 4.8. Condições climáticas exteriores e interiores e parâmetros de ajuste da função de aproximação da evolução da temperatura e da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac (Δp moderado)	58
Tabela 4.9. Condições climáticas exteriores e interiores e parâmetros de ajuste da função de aproximação da evolução da temperatura e da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac (Δp elevado)	58
Tabela 4.10. Correlações entre as temperaturas exterior (Text) e interior (Tint) e os valores obtidos para os parâmetros das funções de aproximação para o ensaio RFcac para Δp moderado	59
Tabela 4.11. Correlações entre as temperaturas exterior (Text) e interior (Tint) e os valores obtidos para os parâmetros das funções de aproximação para o ensaio RFcac para Δp elevado	59
Tabela 4.12. Condições climáticas exteriores e interiores e parâmetros de ajuste da função de aproximação da evolução da temperatura e da taxa de arrefecimento para o ensaio CFcac.....	64
Tabela 4.13. Correlações entre as temperaturas exterior (Text) e interior (Tint) e os valores obtidos para os parâmetros das funções de aproximação para o ensaio CFcac	64
Tabela 4.14. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 20 de Outubro	68

Tabela 4.15. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 2 de Novembro	68
Tabela 4.16. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 13 de Novembro	68
Tabela 4.17. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 27 de Novembro_1	68
Tabela 4.18. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 27 de Novembro_2	68
Tabela 4.19. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 15 de Dezembro_1	68
Tabela 4.20. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 15 de Dezembro_2	69
Tabela 4.21. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 21 de Dezembro	69
Tabela 4.22. Temperaturas e parâmetros climáticos para todos os dias de ensaio JFsa, considerando como área de influência a Caixa A	70
Tabela 4.23. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio CFsa no dia 15 de Dezembro_1	74
Tabela 4.24. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio CFsa no dia 15 de Dezembro_2	74
Tabela 4.25. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio CFsa no dia 21 de Dezembro	74
Tabela 4.26. Temperaturas e parâmetros climáticos para todos os dias de ensaio CFsa, considerando como área de influência a Caixa A	74
Tabela 4.27. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio RLsa : a) 20 de Outubro; b) 2 de Novembro; c) 13 de Novembro; d) 27 de Novembro_1; e) 27 de Novembro_2; f) 15 de Dezembro_1; g) 15 de Dezembro_2; h) 21 de Dezembro	77
Tabela 4.28. Temperaturas e parâmetros climáticos para todos os dias de ensaio RLsa, considerando como área de influência a Linha C	78
Tabela 4.29. Dados de 20 de Outubro	81
Tabela 4.30. Dados de 2 de Novembro	82
Tabela 4.31. Dados de 13 de Novembro	82
Tabela 4.32. Dados de 27 de Novembro_1	82
Tabela 4.33. Dados de 27 de Novembro_2	82
Tabela 4.34. Dados de 15 de Dezembro_1	83

Tabela 4.35. Dados de 15 de Dezembro_2	83
Tabela 4.36. Dados de 21 de Dezembro	83
Tabela 4.37. Dados relativos ao ensaio de nada selado (NS)	84
Tabela 4.38. Dados relativos ao ensaio de selada a roldana (SR)	84
Tabela 4.39. Dados relativos ao ensaio de selada a caixilharia (SC)	84
Tabela 4.40. Média e desvio padrão do V_{50} e do n_{50} para os três ensaios.....	84
Tabela 4.41. Matrizes de Correlação.....	85
Tabela 4.42. Dados para determinação das curvas de permeabilidade (NS)	85
Tabela 4.43. Dados para determinação das curvas de permeabilidade (SR)	86
Tabela 4.44. Dados para determinação das curvas de permeabilidade (SC)	86
Tabela 4.45. Valores finais dos parâmetros C e n.....	86

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

Q – Caudal do ar [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$];

C – constante para correlação entre Q e Δp ;

Δp – Diferencial de pressão [Pa];

n – Fator/Coeficiente que depende do tipo de escoamento;

RPH – Renovações por hora [h^{-1}];

RPH50 - Renovações por hora para um Δp de 50Pa [h^{-1}];

n_{50} - Renovações por hora para um Δp de 50Pa [h^{-1}];

Q_{50} - Caudal escoado para um Δp de 50 Pa [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$];

V - volume do espaço ensaiado [m^3];

RPHmédia anual - Renovação horária média anual [h^{-1}];

N – Constante que depende da caracterização do clima local;

C - Fator climático que depende do vento e da temperatura das diferentes zonas climática;

H - Fator relacionado com a altura da habitação;

S - Fator relacionado com a proteção da habitação ao vento;

L - Fator relacionado com as fendas existentes na habitação;

q_{50} - Permeabilidade ao ar com um Δp de 50 Pa por área da envolvente [$\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$];

w_{50} - Permeabilidade ao ar com um Δp de 50 Pa por unidade de área de pavimento [$\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$];

A_E - Área da envolvente [m^2];

A_P - Área do pavimento [m^2];

ρ - Densidade do ar [Kg/m^3];

g - Constante da aceleração da gravidade [m/s^2];

z - Diferença de altura entre aberturas [m];

t_i - Temperatura interior [$^{\circ}\text{C}$];

t_e - Temperatura exterior [$^{\circ}\text{C}$];

t_m - Média das temperaturas interior e exterior [°C];

v - velocidade do vento [m/s];

m – metros [m];

ABREVIATURAS

RPH – Renovações por hora

RPH50 - Renovações por hora para um Δp de 50Pa;

RPHmédia anual - Renovação horária média anual;

IV – Infravermelhos;

ET – Ensaio termográfico;

JFsa – Janela em vista frontal sem aquecimento da parede;

JFca - Janela em vista frontal com aquecimento da parede;

JLsa - Janela em vista lateral sem aquecimento da parede/caixilharia;

JLcac - Janela em vista lateral com aquecimento da cartolina;

RFsa - Roldana inferior da fita de estore em vista frontal sem aquecimento da cartolina;

RFcac - Roldana inferior da fita de estore em vista frontal com aquecimento de cartolina;

RLsa - Roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica;

RLca - Roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica;

CFsa - Canto superior direito da janela em vista frontal sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica;

CFcac - Canto superior direito da janela em vista frontal com aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica;

ED – Ensaio de despressurização;

NS – Nada selado;

SR – Selada a roldana;

SC – Selada a caixilharia;

Text – Temperatura exterior;

Tint – Temperatura interior;

TRef – Temperatura de referência;

Vvento – Velocidade do vento;

Dir.Vento – Direção do vento.

1

ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1. ENQUADRAMENTO

A ventilação é um fator determinante para um desempenho adequado dos edifícios, estando relacionada com a renovação intencional de ar num espaço fechado. Este processo é necessário de modo a manter-se uma boa qualidade do ar no interior dos edifícios. Dessa forma, uma parte do ar contido no interior de qualquer espaço fechado deve ser continuamente removido e substituído por ar fresco exterior. Tal processo é necessário para a própria respiração humana, para a saúde e conforto dos ocupantes, para o controlo das condensações e para a diluição e eliminação de possíveis poluentes existentes.

Contudo, ter uma boa estanqueidade num edifício é crucial para melhorar o seu desempenho energético. As trocas de ar com o exterior do edifício, quer sejam infiltrações, quer sejam fugas de ar, resultam no aumento dos requisitos para a correta climatização dos espaços e portanto num aumento dos custos energéticos associados.

Saber balancear estes dois fatores é de extrema importância pois deve-se garantir que o espaço é suficientemente estanque de modo a proporcionar o conforto desejado e minimizar os gastos energéticos, mas também é imprescindível ter uma ventilação mínima dos espaços de modo a manter-se os requisitos adequados para qualidade do ar e também de modo a evitar-se o aparecimento de anomalias devido à humidade excessiva.

A crescente necessidade de se quantificar as trocas de ar entre o interior e o exterior de um edifício, levou ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos experimentais para a deteção das infiltrações de ar e a forma como se propagam para o interior de um compartimento. Também se tenta cada vez mais utilizar métodos quantitativos para a caracterização das referidas infiltrações, nomeadamente estimando-se o valor dos respetivos caudais.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Esta dissertação tem como principal objetivo a exploração das potencialidades da termografia para avaliação e quantificação da estanqueidade ao ar de um compartimento de um edifício de habitação, recorrendo à despressurização do espaço para evidenciar entrada de ar. Para alcançar este objetivo principal estabeleceu-se um conjunto de objetivos parciais, nomeadamente:

- Avaliação de diferentes procedimentos para os ensaios termográficos para definição dos que eram efetivamente adequados para a avaliação da estanqueidade, nomeadamente, termografia ativa, termografia passiva, lâmina de ar perpendicular ou paralela à superfície em estudo, utilização de cartolina ou painel de baixa condutibilidade.
- Repetição dos ensaios termográficos e de porta ventiladora para análise da variabilidade dos resultados obtidos para diferentes condições ambientais e climáticas.
- Avaliação do efeito nos ensaios termográficos de diferentes diferenciais de pressão para garantir a despressurização do espaço e a entrada do ar através das aberturas em estudo.
- Definição de uma metodologia quantitativa para interpretação dos resultados termográficos, que evidencie o efeito da entrada de ar.
- Definição de curvas de ajuste para a evolução da temperatura superficial ao longo do ensaio.
- Definição de correlações entre a temperatura superficial resultante da entrada de ar e os parâmetros que afetam os ensaios, como parâmetros climáticos interiores e exteriores.
- Realização de ensaios de porta ventiladora, para avaliação da estanqueidade do compartimento.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, cujo conteúdo se resume em seguida.

O primeiro capítulo procura fazer um enquadramento geral do tópico abordado neste trabalho, realçando a sua importância, bem como inclui a definição dos objetivos principais e a organização e estrutura deste trabalho.

O segundo capítulo consiste numa breve introdução aos conceitos de estanqueidade e ventilação. Aborda-se a importância crescente dos mesmos e a interligação entre eles, uma vez que são conceitos que interferem um com o outro. Faz-se também uma reflexão sobre a diferença dos conceitos de estanqueidade ao ar e infiltração do ar, e quais os fatores que influenciam este último. Posteriormente, abordam-se os princípios da termografia, indicado genericamente a sua aplicação aos edifícios. É feita uma comparação entre termografia ativa e passiva e referem-se ainda alguns trabalhos relacionados com o tema. Faz-se ainda uma descrição do ensaio da porta ventiladora e, no final do capítulo, aborda-se a utilização simultânea da termografia e da porta ventiladora.

No terceiro capítulo encontra-se descrita a metodologia utilizada na realização dos ensaios, nomeadamente, descreve-se o caso de estudo, indicam-se os procedimentos de ensaio e listam-se os equipamentos utilizados.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos nos diversos ensaios, estando este capítulo subdividido em termografia ativa, termografia passiva, ensaios de despressurização, avaliação exploratória da análise avançada de resultados e, por fim, síntese crítica. Também se descreve detalhadamente, para os ensaios termográficos, a metodologia utilizada para a análise dos resultados.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões da presente dissertação e a sugestão de possíveis desenvolvimentos futuros para o enriquecimento do tema em estudo.

2

ESTANQUEIDADE AO AR EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO – ENSAIO DE TERMOGRAFIA E PORTA VENTILADORA

2.1. INTRODUÇÃO

Estanqueidade ao ar traduz a resistência de uma construção a infiltrações ou exfiltrações de ar não intencionais, ou seja, a movimentos de ar não controlados através da envolvente. A falta de estanqueidade ao ar deve-se às várias fugas, aos defeitos, às ligações de caixilharia com fachada ou com determinadas instalações, às ligações entre elementos verticais e horizontais, entre outros. Os próprios dispositivos que se destinam à ventilação do edifício permitem também a infiltração de ar logo, contribuem para essa definição geral de estanqueidade ao ar. Contudo, enquanto na ventilação os fluxos de ar são controlados, sendo os custos associados perfeitamente conhecidos, nas infiltrações/exfiltrações de ar os custos associados são de difícil previsão [1].

É de salientar que alterações na estanqueidade global do edifício podem alterar uma série de aspetos funcionais, contribuindo eventualmente para o aparecimento de patologias. A estanqueidade do edifício depende do sistema de ventilação que se pretenda instalar. A alteração da estanqueidade e a forma como essa alteração afeta os sistemas de ventilação pode condicionar a qualidade do ar interior. A degradação do ar interior é um fenómeno cada vez mais comum, pois os edifícios são também cada vez mais estanques, como garantia de um melhor desempenho energético [2].

A avaliação da estanqueidade ao ar dos edifícios é um procedimento relevante para a determinação do seu desempenho global. A atualização da legislação nacional existente afirma que a definição de requisitos e avaliação do desempenho energético dos edifícios passa a basear-se em dois pilares, sendo eles, no caso de edifícios de habitação, o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. Tendo em vista os edifícios cumprirem os requisitos necessários no seu comportamento térmico, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) estabelece, entre outros aspetos, requisitos de qualidade térmica da envolvente, valores de necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento e, requisitos de ventilação de espaço, impondo um valor mínimo de cálculo para a taxa de renovação [3].

Deste modo, a inclusão da estanqueidade ao ar, enquanto parâmetro de cálculo, na regulamentação energética nacional, reforça a necessidade da comunidade técnica conhecer em profundidade o conceito, as ferramentas de avaliação, os resultados mais frequentes, a sua variabilidade e os fatores que a influenciam. [2]

Existe uma grande complexidade na quantificação do ar que passa através das pequenas aberturas de uma edificação devido às suas formas demasiado irregulares, à sua reduzida dimensão e ao desconhecimento de alguns fatores envolvidos. O cálculo desses caudais de ar através de métodos analíticos é uma metodologia pouco expedita. Assim sendo, desenvolveram-se métodos experimentais, mais ou menos expeditos, que permitem ultrapassar, em parte, a complexidade de fenómenos e fatores que envolve a caracterização da permeabilidade ao ar em edifícios [4] e [5]. Esses métodos são já vulgarmente utilizados, tendo como fatores e interações relevantes a geometria do edifício e o seu espaço envolvente, o gradiente da temperatura no interior e a diferença de temperatura entre o interior e o exterior e, ainda, a direção e intensidade do vento. Como exemplo de ensaio utilizado para a determinação da permeabilidade ao ar de edifícios surge o ensaio de pressurização e/ou despressurização, sendo a sua prática bastante vulgar e mesmo obrigatória em alguns países.

2.2. ESTANQUEIDADE VS VENTILAÇÃO

As trocas de ar entre o edifício e o exterior podem ser divididas em dois mecanismos – ventilação e infiltração. A ventilação é a movimentação de ar intencional, entre o edifício e o exterior, através de janelas, grelhas, etc., enquanto a infiltração é a movimentação de ar fortuito, através de fendas ou aberturas não intencionais.

A ventilação é um tema de grande importância no comportamento energético dos edifícios, principalmente com a mudança das técnicas de construção. De maneira a reduzir as perdas de calor, foi aumentada a estanqueidade da envolvente dos edifícios, reduzindo assim a taxa de infiltração de ar nas habitações. Como tal, ao projetar uma habitação, é sempre necessário prever uma dada taxa de ventilação, com vista à supressão de três tipos de necessidades [2]:

- Qualidade do ar interior;
- Conforto térmico;
- Prevenção de riscos de condensação.

A permeabilidade ao ar dos edifícios deve-se às aberturas e às próprias características da envolvente. A relevância das aberturas no que diz respeito à permeabilidade depende da sua localização, da sua dimensão, das diferenças de temperatura entre o interior e exterior, das características do ar proveniente da infiltração e da diferença de pressão entre o exterior e o interior. A envolvente de um edifício é constituída pelos diversos elementos de construção que demarcam uma zona independente como, por exemplo, paredes, pavimentos, coberturas, entre outros. No que diz respeito à permeabilidade, as portas e as janelas de um edifício não são consideradas aberturas pois encontram-se na maior parte do tempo fechadas. Por sua vez os dispositivos de ventilação e as juntas já são considerados.

A estanqueidade da envolvente de um edifício representa a quantidade de infiltração de ar num edifício em relação ao seu volume. A permeabilidade ao ar de um edifício é expressa em termos de infiltração de ar em metros cúbicos por hora por metro quadrado da área da envolvente do edifício, quando

submetido a um diferencial de pressão de 50 Pa. A taxa de infiltração de ar através da envolvente do edifício é o volume de ar que passa através da envolvente por unidade de tempo. Esta taxa de fluxo, para um dado período de tempo, é usada para representar a estanqueidade do edifício [6].

As definições acima referidas demonstram que estanqueidade ao ar e infiltração do ar são conceitos diferentes pois, a estanqueidade apresenta resultados sempre iguais, em diferentes alturas, já a infiltração tem os seus valores a variar dependendo de vários fatores como:

- Orientação do edifício;
- Direção do vento;
- Tipo de ventilação (mecânica ou natural);
- Diferencial de temperatura interior/exterior;
- Comportamento dos ocupantes.

Como já foi referido anteriormente, a estanqueidade de um edifício é um fator cada vez mais relevante, uma vez que afeta as condições higrotérmicas, a qualidade do ar interior da habitação e o consumo de energia do próprio edifício, podendo contribuir significativamente para a sua “carga global” de aquecimento e arrefecimento. As infiltrações de ar nos edifícios são responsáveis por cerca de 20% a 50% dos custos de energia, dependendo das suas características e da zona climática em que está inserido [7].

As normas de dimensionamento dos sistemas de ventilação têm como objetivo proporcionar a ventilação mínima para as necessidades metabólicas e para a eliminação dos principais poluentes existentes no interior. O sistema de ventilação implementado num edifício será tão mais eficaz quanto mais adequada a esse sistema for a estanqueidade ao ar da envolvente. De salientar que edifícios com boa estanqueidade mas sem um sistema de ventilação adequado, são tão maus como edifícios com grandes infiltrações de ar, devido à elevada higrometria que podem apresentar [8].

A maneira mais credível para a avaliação da taxa de infiltração em edifícios existentes consiste na utilização de métodos experimentais, nomeadamente no método da porta ventiladora, durante o qual são efetuados testes de pressurização/despressurização de acordo com procedimentos de medição específicos [9].

2.3. TERMOGRAFIA

2.3.1. DEFINIÇÃO DE TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHOS

A termografia (do grego *θέρμη therme*, significando calor; e *γραφία grafia*, escrita) é uma técnica que permite mapear temperaturas superficiais de um corpo ou uma região com o intento de distinguir áreas de diferentes temperaturas, permitindo portanto a visualização artificial da radiação infravermelha emitida por esse corpo [10]. Todos os materiais com temperatura superior ao zero absoluto emitem radiação infravermelha do espectro eletromagnético, estando relacionada com a temperatura a que se encontram.

A câmara termográfica, Figura 2.1, deteta a energia infravermelha (calor), converte-a em sinal elétrico e produz imagens (termogramas ou imagens térmicas), dando-nos a conhecer a temperatura na superfície do material emissor. Conforme a aplicação e os respetivos objetivos, a termografia pode ser dividida em três segmentos distintos:

- Termografia qualitativa: análise qualitativa da distribuição térmica através de padrões observados;
- Termografia quantitativa: medição das temperaturas diretamente na imagem obtida;
- Termografia analítica: utilizada em inspeções para otimizar os métodos de trabalho, tratamentos estatísticos, qualidade, entre outros.



Figura 2.1. Câmara termográfica

Apesar da técnica de termografia por infravermelhos ser de simples execução, existem alguns fatores que interferem direta ou indiretamente na análise dos resultados finais, devendo-se tomar precauções antes e durante todo o desenvolvimento do ensaio. Como tal, é necessário conhecer alguns dos fatores mais importantes que podem influenciar os resultados obtidos, sendo eles:

- A emissividade dos materiais;
- A refletividade dos materiais.

A emissividade de uma superfície define a radiação por ela emitida quando comparada com a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura. A emissividade varia em função de três fatores: o comprimento de onda, a direção ou ângulo de observação em relação à superfície e a temperatura da superfície [11]. Para obter medições reais para a temperatura, torna-se necessário conhecer o valor efetivo da emissividade da superfície que está a ser analisada. O valor da emissividade da superfície

pode ser obtido através de métodos simplificados, ou recorrendo a listas que apresentam valores tabelados para a emissividade dos diferentes elementos, Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Valores tabelados para a emissividade de alguns materiais [11]

Material	Temperatura (°C)	Emissividade
Alumínio (polido, folha)	100	0,05
Areia	20	0,90
Betão	20	0,92
Estuque (rugoso, lima)	10 - 90	0,91
Madeira (carvalho, aplainado)	20	0,90
Papel (branco)	20	0,70 - 0,90
Tijolo (alvenaria, rebocada)	20	0,94

A refletividade dos materiais é uma propriedade que pode influenciar os resultados de uma medição. A energia captada pelo recetor resulta da sobreposição de vários efeitos. Ou seja, o corpo reflete a fração de energia emitida pelo ambiente e pelo fundo e emite a própria energia. Se o corpo em questão estiver rodeado por outros corpos a diferentes temperaturas, mais elevadas do que a dele, a radiação captada pela câmara é afetada devido à reflexão por parte do corpo em estudo da radiação que sobre ele incide e é emitida pelos objetos que o rodeiam [11].

As principais vantagens na realização de ensaios com recurso a câmaras termográficas são [12]:

- Inspeção rápida e em tempo real;
- Ensaio não destrutivo e seguro pois não necessita de contacto com o objeto;
- Aplicável numa vasta gama de distâncias, desde 0,2 metros a vários quilómetros;
- Possibilidade de realização de ensaios noturnos;
- As imagens obtidas são intuitivas e de fácil análise qualitativa;
- Os equipamentos são leves e fáceis de transportar;
- Grande sensibilidade conseguindo detetar-se variações de temperatura da ordem das décimas de grau centígrado.

No entanto apresenta algumas limitações ou desvantagens [12]:

- Elevado custo;
- Necessidade de uma pessoa qualificada e com formação específica principalmente quando se pretende uma análise quantitativa, devido aos procedimentos de calibração necessários;
- A precisão dos equipamentos atuais não é superior a $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 2\%$ da medição, o que em certos ensaios pode ser uma condicionante;
- Existência de vários fatores a interferir na medição.

2.3.2. TERMOGRAFIA EM EDIFÍCIOS

A termografia de infravermelhos tem inúmeras aplicações não só em edifícios de habitação, como também noutro tipo de obras de engenharia civil. Pode ser utilizada para deteção de causas de patologias já visíveis mas também é bastante útil no realce de patologias embrionárias, não visíveis à vista desarmada.

As câmaras termográficas de infravermelhos permitem-nos detetar e localizar problemas tão diversos como [13] e [14]:

- Fugas ou infiltrações de ar (Figura 2.3);
- Fissuras estruturais;
- Vazios no interior do betão;
- Falta e/ou defeitos no isolamento;
- Corrosão das armaduras;
- Humidade;
- Roturas em tanques, depósitos, em canalizações de água e em sistemas de ar condicionado;
- Traçado de tubagens (Figura 2.3);
- Elementos estruturais (Figura 2.2);
- Existência de colónias de insetos no interior de elementos de madeira da construção;
- Deteção de pontes térmicas (Figura 2.2).

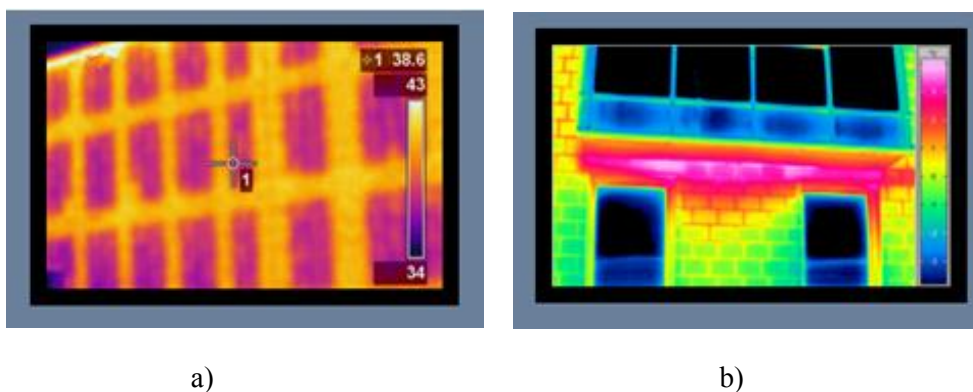


Figura 2.2. a) Localização de elementos estruturais não aparentes em edifícios [14]; b) Identificação de pontes térmicas em fachadas de edifícios [14]

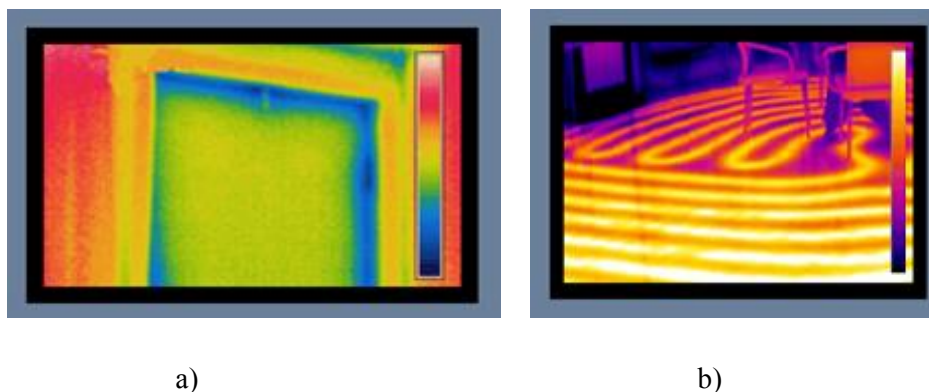


Figura 2.3. a) Identificação de portas e janelas permitindo a passagem de ar [14]; b) Identificação de sistemas de aquecimento em pavimentos [14]

Apesar de todas as oportunidades que apresenta para um melhor diagnóstico de edifícios, a utilização da termografia de infravermelhos baseia-se sobretudo numa avaliação qualitativa e mais superficial dos resultados. Contudo, conforme realça Barreira [15], tem havido uma tentativa de implementar metodologias de interpretação quantitativas, que garantam análises mais fiáveis. No entanto, a análise quantitativa dos resultados origina um conjunto acrescido de dificuldades no desenrolar dos ensaios. Sabendo-se que as medições sofrem diversas interferências, quando se adota uma análise quantitativa, estas interferências devem ser registadas e se possível, medidas, pois podem ter um peso considerável nos resultados obtidos, especialmente se o critério de avaliação for a temperatura superficial absoluta. Uma das formas de contornar este problema será adotar critérios de avaliação que não sejam tão sensíveis às interferências, como por exemplo, utilizar a diferença de temperatura entre zonas com e sem defeito em alternativa a utilizar-se apenas a temperatura absoluta.

2.3.3. TERMOGRAFIA ATIVA E PASSIVA

Os ensaios termográficos podem ser realizados com ou sem a presença de estímulos térmicos, sendo no primeiro caso designados como termografia ativa e no segundo caso termografia passiva. Na termografia ativa submete-se o objeto em estudo a estímulos térmicos, ou seja, a um aquecimento ou arrefecimento. Desta forma origina-se um contraste térmico tornando o termograma muito mais explícito. O aquecimento pode ser obtido recorrendo-se a várias fontes de calor como por exemplo lâmpadas de halogéneo, jatos de ar quente, radiação infravermelha e outras mais complexas como pulsos ultrassónicos, micro-ondas e lasers. As imagens térmicas podem ser captadas durante a fase de aquecimento/arrefecimento ou então durante o período de retorno ao estado de equilíbrio térmico [16].

Na termografia passiva não existe qualquer processo de aquecimento ou arrefecimento artificial do objeto em estudo. É de salientar, no entanto, que a radiação solar é considerada um aquecimento natural. Esta abordagem apresenta a vantagem de apenas se necessitar da câmara termográfica para a realização dos ensaios. A termografia passiva é utilizada fundamentalmente na manutenção de sistemas, na avaliação de diversos processos industriais, assim como no estudo de grandes estruturas como pontes e edifícios [16].

2.3.4. TRABALHOS RELACIONADOS

A termografia infravermelha é bastante utilizada no campo da engenharia civil. Aparece geralmente ligada a estudos no âmbito da avaliação da qualidade térmica da envolvente de edifícios. Serve também para a deteção de anomalias visíveis ou embrionárias relacionadas com a presença de humidade, falta de isolamento e, como se retrata no presente trabalho, fugas ou infiltrações de ar.

De seguida abordam-se dois estudos de anomalias associadas a edifícios, realizados por diversos autores:

- *Quantitative infrared thermography in buildings, E. Grinzato et al. [17]*

Este trabalho foi realizado com a finalidade de se encontrar uma metodologia de deteção e avaliação de anomalias na envolvente de edifícios. O método consiste no aquecimento da zona em questão seguido registo de imagens termográficas para posteriormente os pontos dessas imagens serem analisados quantitativamente, Figura 2.4. Os dados são processados para se obter um mapa de defeitos da parede, com base na evolução temporal da temperatura através de modelos simplificados. A envolvente do edifício é examinada principalmente em regime térmico transitório. Para a deteção das fugas de ar também se utilizou uma metodologia baseada na subtração de imagens termográficas para se distinguir o efeito das pontes térmicas do arrefecimento devido às fugas de ar. São apresentados resultados experimentais para as deficiências de isolamento e avaliação de pontes térmicas, deteção de fugas de ar e mapeamento de humidade.

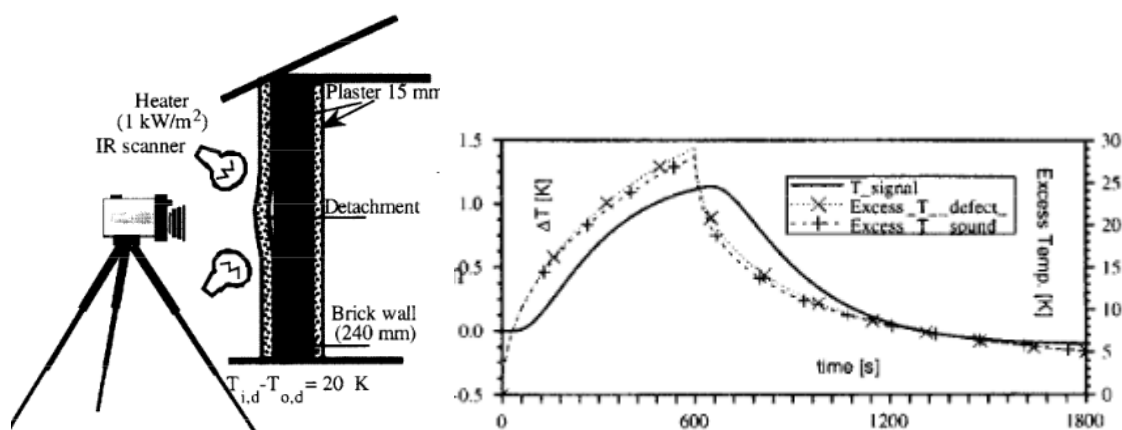


Figura 2.4. Aquecimento da parede e gráfico de evolução da temperatura [17]

- *Testing Building Envelope Systems Using Infrared Thermography, J. Snell and Rob Spring P.E. [18]*

O presente artigo discute as inúmeras aplicações da termografia para inspecionar a envolvente de edifícios, nomeadamente, a validação dos sistemas estruturais, a verificação do desempenho energético (infiltrações de ar), localização de humidade e a identificação de degradação dos componentes estruturais.

Relativamente às infiltrações de ar, que é o foco deste trabalho, os autores referem que a utilização de câmaras termográficas torna perceptível a circulação de ar em todo o perímetro do edifício. No entanto, tal só é possível quando o fluxo de ar é dirigido e controlado, o que pode ser conseguido com sistemas de ventilação, com a porta ventiladora, ou, em edifícios grandes, alterando temporariamente o sistema de climatização, para criar uma pressão negativa no interior. A Figura 2.5 mostra um edifício, com estrutura leve, onde os elementos de suporte das fachadas e o respetivo isolamento térmico são detetados e onde são também visualizadas as saídas de ar pelo topo do edifício devidas a diferenças normais de pressão.

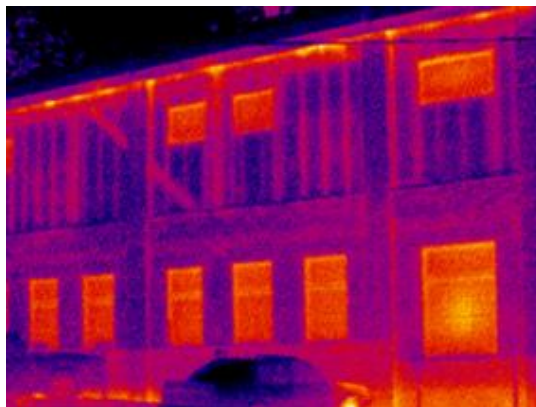


Figura 2.5. Termograma de edifício comercial [18]

2.4. DESCRIÇÃO DO ENSAIO DA PORTA VENTILADORA

O ensaio da porta ventiladora é um método experimental empregue para estudar a estanqueidade de um edifício de habitação. Foi utilizado pela primeira vez na Suécia, por volta de 1975, sendo nessa altura o ventilador montado numa janela em vez de numa porta.

O princípio do método consiste em gerar uma diferença de pressão entre o exterior e o interior, mais concretamente, entre os dois lados de uma abertura ou elemento construtivo, com a ajuda de um ventilador calibrado, medindo os caudais e estabelecendo uma correlação (q , Δp) entre os resultados obtidos. A pressurização implica a introdução de ar no edifício e a despressurização consiste em retirar ar do edifício.

Considerando um edifício na sua globalidade, é possível estimar diretamente a influência global das infiltrações/exfiltrações e a respetiva permeabilidade. O ensaio da porta ventiladora é utilizado principalmente para os seguintes fins:

- Detetar fugas na envolvente do edifício;
- Realizar estudos de permeabilidade;
- Verificar a eficiência da reabilitação da envolvente (comparando os valores das infiltrações antes e após a reabilitação);
- Realizar estimativas do consumo de energia e da qualidade do ar interior, a partir dos valores obtidos das infiltrações;
- Prever valores médios da taxa de infiltração.

Embora o ensaio com porta ventiladora possa ser empregue para os fins acima descritos, os dados do ensaio não podem ser geralmente utilizados para estimar caudais de ar em tempo real sob condições naturais ou estimar o comportamento de sistemas de ventilação complexos [19] e [20].

A porta ventiladora, Figura 2.6, consiste numa porta extensível, com ajuste em largura e altura, coberta com uma tela impermeável e com um orifício na parte inferior para a colocação de um ventilador específico. Este ventilador deverá possuir ajuste de velocidade de maneira a ter capacidade de induzir uma variedade de caudais de ar suficiente para pressurizar ou despressurizar edifícios de diferentes volumes. Também devem ser conhecidas as curvas características (caudal e diferencial de pressão) do referido ventilador.

Para a realização do ensaio da porta ventiladora também é necessário um controlador de pressão que simultaneamente leia a pressão diferencial induzida e controle a velocidade do ventilador de modo a ter-se o diferencial de pressão pretendido.



Figura 2.6. Porta Ventiladora

O procedimento do ensaio da porta ventiladora está estandardizado através da norma: EN13829 - Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method, da norma ISO 9972:2015 - Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method e da ASTM E779:2003 (American Society for Testing Materials) – Standard Test Method for Determining Air leakage rate by Fan pressurization.

Antes de proceder ao ensaio começa-se pela preparação do edifício ou compartimento, fechando todas as janelas, portas e restantes aberturas. Também se deve desligar os sistemas AVAC e não acender lareiras ou outros aparelhos de combustão.

O teste é realizado para incrementos de pressão de 10 Pa sendo que o diferencial de pressão mínimo deve ser de 10Pa. Para habitações individuais e outros edifícios pequenos, o valor máximo da diferença de pressão deve ser de pelo menos 50 Pa [19].

A partir destas medidas e supondo que a relação entre o caudal e o diferencial de pressão é dada pela seguinte expressão:

$$Q = C \times (\Delta p)^n \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (2.1)$$

Onde,

Q : Caudal de ar escoado através da abertura [m³/h];

C : Coeficiente de escoamento do ar;

Δp : Diferença de pressão entre o espaço interior e exterior dividido pela abertura [Pa];

n : Expoente do escoamento.

Determina-se o valor dos coeficientes C e n que melhor aproximam esta função aos dados recolhidos.

O diferencial de pressão é medido através de sensores apropriados para o efeito. O valor do caudal pode ser obtido também por sensores ou estimado através da curva característica do ventilador. Devido ao tipo de função em causa, numa escala logarítmica os pontos devem estar sobre uma reta sendo fácil detetar-se se algumas das medições estão fora da tendência linear. Caso tal aconteça esta medida não é válida sendo portanto retirada e substituída por um novo ensaio [21].

O valor do expoente n, normalmente situa-se dentro do intervalo entre 0,5 e 1, correspondendo os valores mais baixos a escoamentos turbulentos (aberturas de pequenas dimensões) e os valores próximos de 1 a escoamentos laminares (aberturas de grande dimensão). Segundo a ISO 9972, para que os resultados do teste sejam válidos, n deve estar no intervalo acima referido. Na Figura 2.7 ilustra-se um exemplo dos resultados obtidos num ensaio retirado da ISO 9972 [19].

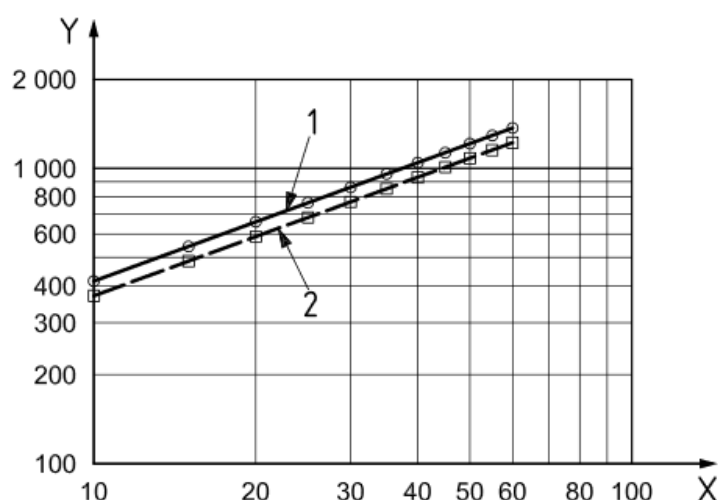


Figura 2.7. Resultados obtidos no ensaio [19]

Onde o Y representa o caudal escoado em m³/h, X o diferencial de pressão em Pa e o 1 corresponde a um ensaio de depressurização e o 2 corresponde a um ensaio de pressurização.

São utilizadas diferentes unidades em toda a Europa, mas as características medidas são similares. Este método também permite a determinação de diversos parâmetros. Começamos por referir o parâmetro geralmente utilizado na comparação de edifícios denominado indicador n_{50} ou RPH50 sendo este definido pela seguinte expressão:

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V} \text{ [h]} \quad (2.2)$$

em que,

Q_{50} : caudal escoado para um Δp de 50 Pa [m³/h]

V: volume do espaço ensaiado [m³]

A partir deste indicador podemos calcular os valores médios anuais da taxa de infiltração (RPH). Para tal é necessária a caracterização do clima local, nomeadamente em termos de temperatura e ventos, e também do tipo de edifício e sua envolvente. Esta caracterização reflete-se no valor de uma constante N pela qual o RPH50 é dividido resultando o valor da renovação horária média anual (h⁻¹).

$$RPH_{\text{média anual}} = \frac{RPH50}{N} \text{ [h]} \quad (2.3)$$

Sendo N dado por [22]:

$$N = C \times H \times S \times L \quad (2.4)$$

em que,

C: fator climático que depende do vento e da temperatura das diferentes zonas climática;

H: fator relacionado com a altura da habitação;

S: fator relacionado com a proteção da habitação ao vento;

L: fator relacionado com as aberturas existentes na habitação.

Também se podem utilizar outros indicadores na comparação entre edifícios ou compartimentos como seja o q_{50} relativo à permeabilidade ao ar com um ΔP de 50 Pa, por área da envolvente, e o w_{50} relativo à permeabilidade ao ar por unidade de área de pavimento com o mesmo diferencial de pressão.

$$q_{50} = \frac{Q_{50}}{A_E} \text{ [m/h]} \quad (2.5)$$

$$w_{50} = \frac{Q_{50}}{A_P} \text{ [m/h]} \quad (2.6)$$

em que,

A_E : área da envolvente [m^2];

A_P : área do pavimento [m^2].

Os ensaios sofrem a influência das condições atmosféricas exteriores. Devem portanto ser realizados em situações em que a velocidade do vento esteja entre 0 e 2 m/s e a temperatura exterior entre 5 e 35 °C.

Para diferenças de pressão muito elevadas é possível associar a este método à termografia de infravermelhos, o que permite localizar as infiltrações/exfiltrações através da envolvente. Apesar do método da porta ventiladora permitir definir a estanqueidade global do edifício/compartimento, não consegue determinar por onde ocorre a passagem do ar.

2.5. UTILIZAÇÃO SIMULTÂNEA DA TERMOGRAFIA E DA PORTA VENTILADORA

A termografia não deteta diretamente a massa de ar, mas sim a transferência de calor originada pelo movimento do ar sobre a superfície circundante. A utilização da termografia para detetar o efeito gerado por uma infiltração/exfiltração de ar exige que haja um diferencial de pressão e de temperatura entre o interior e o exterior [23]. A diferença de temperatura entre o interior e exterior deve ser de pelo menos de 5°C [24]. As diferenças de pressão são normalmente criadas pelo efeito chaminé, pelo vento ou por sistemas mecânicos como, por exemplo, ventiladores ou equipamentos de combustão. Nestes casos, o termógrafo está limitado às condições de pressão existentes no momento da realização do ensaio, o que origina na maioria dos casos uma avaliação deficiente das diferentes partes do edifício pois, partes podem estar sob pressão positiva, outras em pressão negativa e outras ainda podem mesmo estar à pressão nominal. Para superar esta limitação, durante o ensaio podem criar-se diferentes condições de pressão por uma de duas formas:

- Em construções mais pequenas utilizar uma porta ventiladora, o que pode criar diferenças de pressão de ar positiva ou negativa dentro de toda a estrutura;
- Em construções de maior dimensão ou edifícios comerciais pode-se ajustar os ventiladores de admissão e de exaustão para variar o diferencial de pressão.

Uma porta ventiladora tem a vantagem de ser capaz de caracterizar a curva de infiltrações para o edifício e/ou compartimento em análise e fornecer uma estimativa quantitativa do caudal derivado das infiltrações de ar sob condições médias e extremas. Para os edifícios de maior dimensão, onde o uso da porta ventiladora não é possível, a quantificação do caudal de ar fica limitada, devendo a sua avaliação ser feita através do uso do método do gás traçador [23].

O efeito da despressurização de ar é o de reduzir, de forma controlada, a pressão interior para que o ar exterior tenda a entrar no edifício, ou seja, para aumentar a taxa de fluxo de ar através da envolvente. Sob tais circunstâncias, a direção do fluxo de ar é do exterior para o interior e, o ar frio que entra, arrefece as superfícies próximas dos pontos de entrada (sempre que a temperatura exterior é inferior à registada no interior). Os termogramas são adquiridos antes e, com intervalos regulares, durante a despressurização do edifício. As zonas mais frias do termograma tornam-se maiores à medida que o ar frio que entra arrefece progressivamente uma maior área da zona de entrada do fluxo de ar [24].

É de salientar que o uso de determinados objetos torna-se essencial para uma melhor observação do fluxo de ar a entrar no compartimento. Por vezes, é preferível uma visão lateral da zona onde ocorre a infiltração em detrimento de uma visão frontal, uma vez que é necessário que exista uma superfície que arrefeça, o que nem sempre acontece. A colocação de um objeto perpendicular à parede, como por exemplo uma folha de papel ou uma cartolina, permite uma melhor visualização do fluxo, Figura 2.8 [24]. Contudo, poderá também haver alguns casos onde a colocação do objeto perpendicularmente ao fluxo de ar permita uma boa visualização do seu arrefecimento devido ao efeito do ar.



Figura 2.8. Visualização de fluxo [24]

Quando se visualiza uma abertura de ar, a velocidade do ar infiltrado pode ser medida através de um anemómetro, Figura 2.9. Os anemómetros de fio quente são geralmente os instrumentos utilizados para se medir a velocidade do ar nestas situações [25]. Na medição da velocidade, a posição exata onde se deve efetuar a medição é crítica e a termografia ajuda a encontrar um ponto ideal. De forma a ter uma melhor perceção do movimento do ar, pode-se utilizar um gerador de fumo para conhecer o caminho percorrido [24].



Figura 2.9. Anemómetro [26]

O ensaio termográfico associado à despressurização através da utilização da porta ventiladora é uma técnica de diagnóstico normalmente qualitativa, não sendo correntemente necessária a utilização de nenhuma escala numérica que quantifique as medidas, visto que apenas se pretende detetar os locais de infiltração de ar. Contudo, a presente dissertação tem como objetivo testar uma análise quantitativa dos ensaios efetuados.

3

METODOLOGIA

3.1. OBJETIVOS E METODOLOGIA

O objetivo principal desta dissertação consiste em testar a potencialidade da termografia de infravermelhos para a avaliação e quantificação da estanqueidade de um espaço, recorrendo-se à sua despressurização através da porta ventiladora. Foram realizados ensaios em diversos meses e em diversas alturas do dia, numa tentativa de avaliar o fluxo de ar infiltrado para diferentes condições climáticas. Também foram realizados ensaios de porta ventiladora para os diferentes períodos para avaliar a possível variabilidade de resultados deste ensaio.

O plano de ensaios, descrito neste capítulo, apresenta os equipamentos utilizados, o procedimento de ensaio e cronograma das tarefas, bem como os programas utilizados na interpretação dos resultados. Todos os ciclos de ensaios realizados englobaram a captação de imagens térmicas com a câmara termográfica para diferentes níveis de despressurização, o que permitiu identificar e avaliar as infiltrações existentes no compartimento em estudo, através do arrefecimento de superfícies da envolvente adjacente à abertura ou de folhas de cartolina (ou outros materiais) colocadas na sua proximidade.

Recorreu-se quer à termografia ativa, com a criação de um estímulo térmico recorrendo a lâmpadas de infravermelhos, quer à termografia passiva, em que os termogramas foram efetuados sem qualquer aquecimento da superfície em estudo. Para cada ciclo de ensaio, foi também realizado o ensaio da porta ventiladora, em regime de despressurização, considerando pressões entre os 10Pa e 50Pa e com as aberturas em análise seladas e não seladas.

Antes e durante todos os ensaios foram também registados parâmetros climáticos do exterior, através de uma estação meteorológica implementada nas imediações do edifício, como a temperatura e a humidade relativa do ar e a velocidade e direção do vento. No interior do compartimento em estudo foram também medidas a temperatura e a humidade relativa do ar e a velocidade de entrada de ar nas aberturas analisadas do compartimento.

3.2. CASO DE ESTUDO

A habitação em estudo encontra-se em São Mamede de Infesta, no concelho de Matosinhos, Figura 3.1. Os ensaios decorreram num dos quartos de um apartamento de tipologia T2, com um volume aproximado de 200 m³, com duas frentes (quartos voltados a poente e a cozinha e a sala orientadas a nascente).



Figura 3.1. Edifício da habitação em estudo

O quarto onde decorreu o ensaio apresenta uma única janela e está voltado a poente e tem as seguintes características, Figura 3.2. e Tabela 3.1:

Tabela 3.1. Dimensões do compartimento em estudo

Área de pavimento	10,66 m ²
Volume	27,73 m ³
Área da janela	1,65 m ²
Área da envolvente	8,06 m ²
Perímetro da envolvente	11,4 m
Pé-direito	2,6 m



Figura 3.2. Compartimento de estudo

3.3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

3.3.1. EQUIPAMENTO UTILIZADO

Os equipamentos utilizados durante o conjunto de ensaios realizados são os seguintes:

- Porta ventiladora da Retrotec (Figura 3.3);
- Anemómetro - AIRFLOW TA-5 (Figura 2.9);
- Câmara Termográfica – Thermo Tracer TH9100 Series da NEC (Figura 3.4);
- Sensor de temperatura e humidade relativa do ar;
- Estação meteorológica;
- Computador;
- Lâmpada de infravermelhos (Figura 3.4);
- Máquina fotográfica.



Figura 3.3. Porta ventiladora



a)



b)

Figura 3.4. a) Câmara termográfica – Thermo Tracer TH9100 Series; b) Aquecedor de infravermelhos

O sistema da porta ventiladora Retrotec 1000 inclui os seguintes elementos, Figura 3.3:

- Ventilador;
- Coberturas para o ventilador;
- Medidor digital DM-2A;
- Conjunto de tubos com sonda de pressão estática;
- Cabo de alimentação;
- Caixilharia em alumínio e tecido estanque.

3.3.2. PROCEDIMENTOS PRELIMINARES

Antes do início dos ensaios propriamente ditos, foi montada a porta ventiladora no vão de acesso ao compartimento em estudo. O primeiro passo consistiu na montagem da caixilharia em alumínio e no seu ajuste às dimensões do vão. Posteriormente colocou-se o tecido estanque e fez-se um último ajuste da caixilharia ao vão. Foram também posicionados os tubos que permitem a obtenção das várias pressões no quarto e no exterior do compartimento. O ventilador foi orientado de acordo com o ensaio de depressurização.

Também nesta fase foram definidas as aberturas a estudar, através de ensaios termográficos preliminares com o compartimento sujeito a depressão. Foram marcadas as posições da câmara para os pontos seleccionados, de forma a garantir sempre a mesma posição nos diferentes ciclos de ensaios. Antes de cada ciclo de ensaios, foi também efetuada a calibração da câmara termográfica, de acordo com as indicações do fabricante, uma vez que o objetivo dos ensaios era a obtenção de valores reais da temperatura da superfície para uma análise quantitativa. Os procedimentos de calibração foram os seguintes [27]:

- **Reflection calibration:** Tem como objetivo compensar a radiação infravermelha proveniente do ambiente onde a superfície em estudo se encontra e consiste num procedimento semiautomático da câmara termográfica. Deve ser executado dez minutos após a câmara ter sido ligada, recorrendo à colocação da tampa de proteção da lente à temperatura ambiente no equipamento e considerando a emissividade do fundo igual a 1,0. Este procedimento deve ser realizado sempre que se desligue a câmara.
- **Ambient compensation:** Tem como objetivo compensar diferentes condições de temperatura, humidade e distância ao objeto, devendo ser utilizado sempre que se pretenda efetuar uma análise quantitativa. Consiste na introdução na câmara do valor da temperatura e humidade relativa do ar do espaço onde se realiza o ensaio e da distância da câmara à superfície em estudo.
- **BackGround compensation (Temperatura Refletida):** Tem como objetivo compensar as reflexões da superfície em estudo de radiação emitida pelas superfícies vizinhas. Para a determinação da temperatura refletida, deve-se utilizar uma folha de alumínio, com aproximadamente 25 x 30 cm, amarrotada e endireitada de seguida, e fixá-la na superfície da amostra a ensaiar. Com a câmara termográfica posicionada a aproximadamente 50 cm, e perpendicularmente à folha de alumínio, abrangendo toda a sua área, retira-se um termograma usando emissividade 1,0. Posteriormente, utilizando o programa de tratamento de imagem seleciona-se toda a área abrangida pela folha de alumínio, sendo o valor médio dessa área a temperatura refletida da amostra, Figura 3.5 e Figura 3.6.

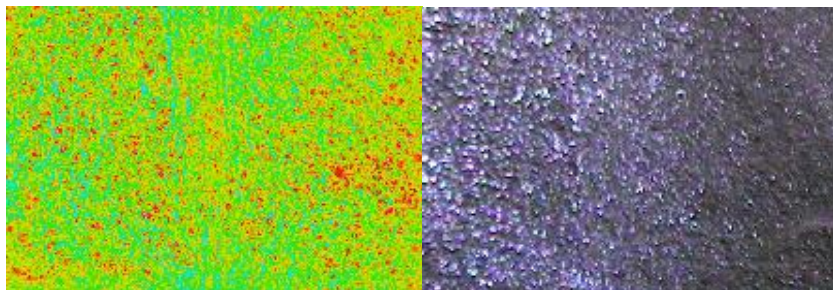


Figura 3.5. Imagem térmica e visível da folha de alumínio

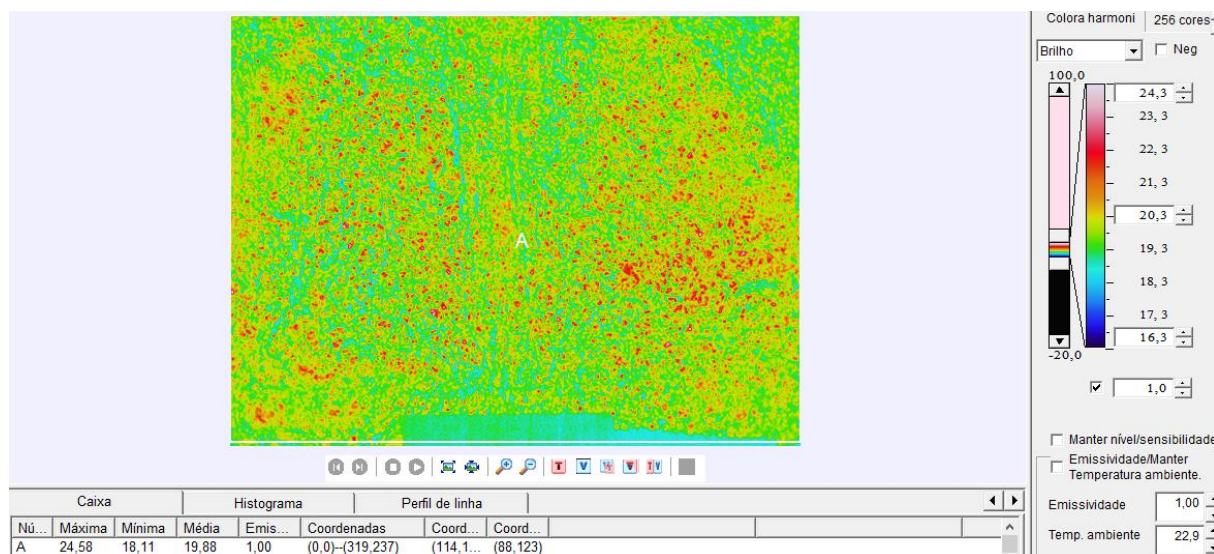


Figura 3.6. Determinação da temperatura refletida

3.3.3. ENSAIOS TERMOGRÁFICOS COM DESPRESSURIZAÇÃO DO ESPAÇO EM ESTUDO

Após efetuados os procedimentos preliminares deu-se início aos ensaios termográficos com despressurização do espaço em estudo, utilizando velocidades variáveis do ventilador. As Tabelas 3.2 e 3.3 enumeram todos os procedimentos de ensaio realizados no âmbito desta dissertação, indicando as referências adotadas para cada um, também utilizadas nas fichas de ensaio individuais apresentadas nos Anexos III e IV, descrevendo-os sucintamente e referindo a respetiva data de realização. Os ensaios termográficos iniciaram-se imediatamente antes da despressurização do compartimento, tendo sido captadas imagens térmicas ao longo do tempo, quer com diferenças de pressão constantes quer com um aumento da diferença de pressão ao longo do ensaio. Desta forma, pretendeu-se visualizar a evolução do fluxo de ar através das aberturas com infiltração. Para uma melhor perceção da entrada de ar nas imagens térmicas, em alguns ensaios utilizaram-se cartolinas pretas ou brancas ou outros materiais.

Tabela 3.2. Referências e descrição dos ensaios

Referência	Descrição
ET_JFsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a janela em vista frontal sem aquecimento da parede (Figura 3.7)
ET_JFca	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a janela em vista frontal com aquecimento da parede (Figura 3.7)
ET_JLsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a janela em vista lateral sem aquecimento da parede/caixilharia (Figura 3.8)
ET_JLcac	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a janela em vista lateral com aquecimento da cartolina (Figura 3.8)

ET_RFsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal sem aquecimento da cartolina (Figura 3.9)
ET_RFcac	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com aquecimento de cartolina (Figura 3.9)
ET_RLsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica (Figura 3.10)
ET_RLca	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica (Figura 3.10)
ET_CFsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com o canto superior direito da janela em vista frontal sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica (Figura 3.11)
ET_CFcac	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com o canto superior direito da janela em vista frontal com aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica (Figura 3.11)
ED_NS	Ensaio de despressurização sem nada selado (Figura 3.7)
ED_SR	Ensaio de despressurização com a roldana inferior da fita de estore selada (Figura 3.14)
ED_SC	Ensaio de despressurização com a caixilharia selada (Figura 3.14)

Tabela 3.3. Referências e datas dos ensaios

Referência	Datas de realização dos ensaios							
	20_Out	2_Nov	13_Nov	27_Nov_1	27_Nov_2	15_Dez_1	15_Dez_2	21_Dez
ET_JFsa	x	x	x	x	x	x	x	x
ET_JFca	x	x	x	x	x	x	x	x
ET_JLsa	x	x						
ET_JLcac	x	x	x	x				
ET_RFsa	x	x	x					
ET_RFcac	x	x	x	x	x	x	x	x
ET_RLsa	x	x	x	x	x	x	x	x
ET_RLca	x	x	x	x	x	x	x	x
ET_CFsa						x	x	x
ET_CFcac				x	x	x	x	x
ED_NS	x	x	x	x	x	x	x	x
ED_SR	x	x	x	x	x	x	x	x
ED_SC	x	x	x	x	x	x	x	x



Figura 3.7. Janela em vista frontal



a)

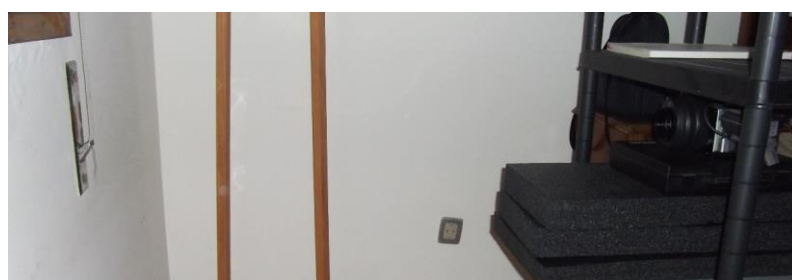


b)

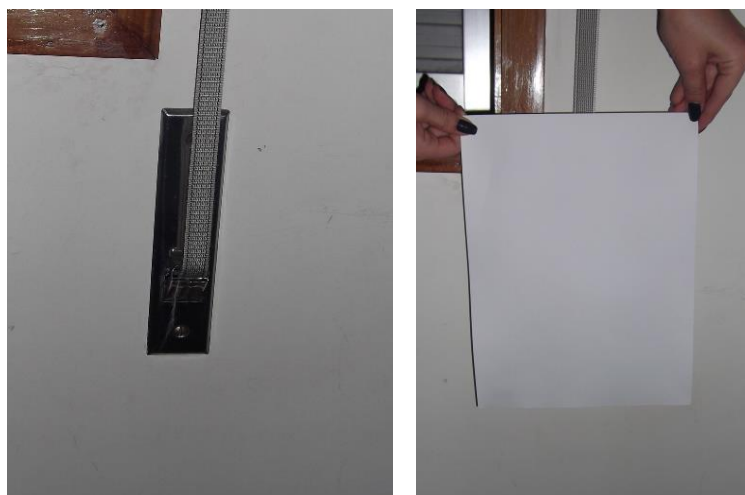


c)

Figura 3.8. a) Posição da câmara termográfica; b) Janela em vista lateral; c) Janela em vista lateral com cartolina preta



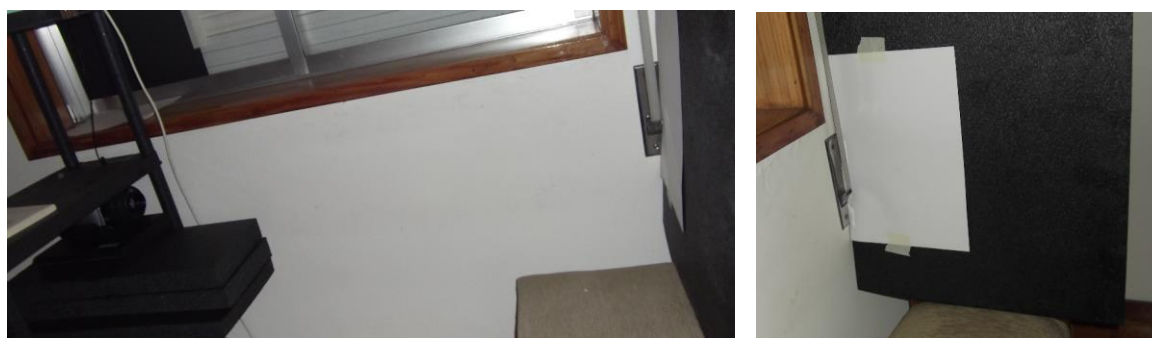
a)



b)

c)

Figura 3.9. a) Posição da câmara termográfica; b) Roldana inferior da fita de estore em vista frontal; c) Roldana inferior da fita de estore em vista frontal com cartolina à frente



a)

b)

Figura 3.10. a) Posição da câmara termográfica; b) Roldana inferior da fita de estore em vista lateral



a)

b)

Figura 3.11. a) Posição do tripé; b) Canto superior direito da caixilharia em vista frontal

3.3.4. ENSAIO DE DESPRESSURIZAÇÃO

Depois de executados os ensaios termográficos, deu-se início aos ensaios de despressurização para determinação da estanqueidade do compartimento, de acordo com a EN13829:2001. Estes ensaios foram realizados através do método automático, recorrendo ao programa FanTestic da Retrotec. De acordo com a norma, o princípio métrico usado para quantificar a estanqueidade ao ar é o caudal de ar através da envolvente, para uma pressão de referência específica, quer seja por extrapolação, interpolação ou por medições diretas. O valor 50 Pa é a pressão normalmente utilizada nos ensaios da porta ventiladora como referência para a avaliação da estanqueidade. É uma pressão suficientemente baixa para se poder alcançar na maioria das habitações e por outro lado razoavelmente elevada para ser independente de influências meteorológicas.

No programa FanTestic é necessário introduzir as variáveis que permitem calcular os índices e os resultados finais, nomeadamente, os dados relativos ao equipamento e ao espaço em análise (volume, área de pavimento, entre outros), como se pode observar na Figura 3.12. Após o registo dos caudais o programa faz a leitura do diferencial de pressão para o fluxo final, obtendo-se os valores de V_{50} , n_{50} , q_{50} e w_{50} , como se pode ver na Figura 3.13.

Figura 3.12. Introdução de dados no programa FanTestic

Dados de testes combinados				
	Resultados	Intervalo de confiança de 95%		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V_{50} [m³/h]	212.0	210.0	214.0	+/-0.9%
Modificação do ar a 50 Pa, n_{50} [/h]	7.64	6.875	8.410	+/-10.0%
Permeabilidade a 50 Pa, q_{50} [m³/h·m²]	26.296	23.656	28.935	+/-10.0%
Fuga específica a 50 Pa, w_{50} [m³/h·m²]	19.882	17.886	21.878	+/-10.0%
Área de fuga efetiva a 50 Pa, E_{FA50} [cm²]	64.60	64.05	65.15	+/-0.9%
Área de fuga equivalente a 50 Pa [cm²]	106.0	104.0	107.0	+/-0.9%
Área de fuga normalizada a 50 Pa, NLA_{50} [cm²/m²]	8.015	7.211	8.820	+/-10.0%

Mostrar gráficos

Figura 3.13. Quadro final de resumo de resultados (ficheiro 13Nov_NS)

Realizaram-se referidos ensaios de despressurização nas seguintes condições:

- Sem nada selado (Figura 3.7);
- Com a roldana inferior da fita de estore selada (Figura 3.14);
- Com a caixilharia selada (Figura 3.14).

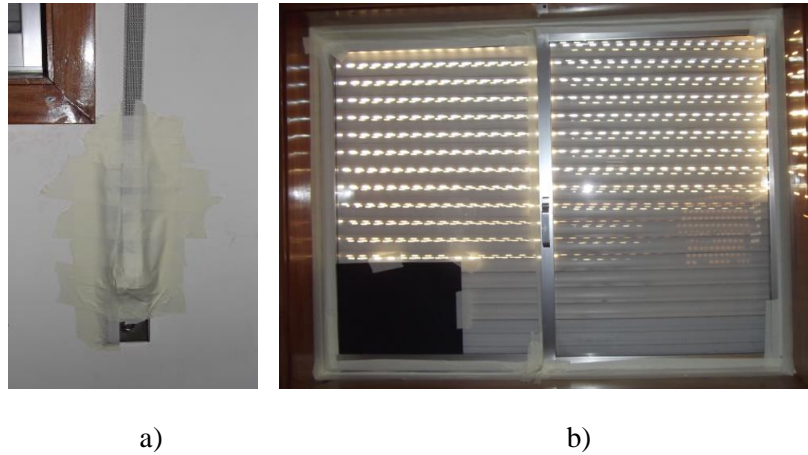


Figura 3.14. a) Roldana inferior da fita de estore selada; b) Caixilharia selada

4

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. ENSAIOS TERMOGRÁFICOS COM DESPRESSURIZAÇÃO - TERMOGRAFIA ATIVA

4.1.1. METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Para os ensaios de “Janela em vista frontal com aquecimento da parede - JFca” e de “Roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade - RLca”, em que são captados termogramas para diferentes diferenças de pressão, a metodologia de tratamento utilizada é composta pelas seguintes fases sequenciais:

- Definição nos termogramas de uma área retangular que abranja a zona que sofreu maior influência do fluxo de ar, através do programa *InfReC Analyzer*. O critério para a definição dessa área consistiu na menor área, comum a todos os ensaios do mesmo tipo, que abrangesse apenas a zona de influência da infiltração. Deste modo, pretendeu-se facilitar a comparação entre os diferentes resultados.
- Conversão dos termogramas em ficheiros *.csv para posterior tratamento em *Excel* (matriz das temperaturas associadas à imagem térmica, ou seja, temperatura por cada *pixel* da imagem) e seleção dos valores correspondentes à área retangular definida anteriormente.
- Definição da gama de temperaturas medidas nessa área, considerando os ensaios com os diferentes diferenciais de pressão, de modo a selecionar um intervalo de valores e construir histogramas por diferencial de pressão.
- Por observação do conjunto de histogramas obtidos, e depois de efetuada uma análise de sensibilidade, definição da temperatura de referência (TRef), ou seja, temperatura acima da qual será contabilizado o número de *pixels* existentes na referida área, que diminuirá sempre que houver entrada de ar frio pelas aberturas em estudo.
- Representação gráfica da variação do número de *pixels* acima da temperatura de referência em função do diferencial de pressão e definição de uma função de aproximação às curvas representativas dos resultados obtidos. Tratando-se de uma função em que o número de *pixels* acima da TRef diminui com o aumento de pressão (uma vez que o ar exterior se encontrava sempre a uma temperatura inferior à da superfície em estudo) e, consequentemente, com o aumento do caudal de ar que entra pela abertura em estudo, a função de aproximação adotada foi do tipo:

$$y = y_0 - k \times Q \quad (4.1)$$

onde,

y : número de *pixels* acima da TRef

y_0 : número de *pixels* inicial acima da TRef

k : constante de proporcionalidade [s/m^3]

Q : caudal [m^3/s]

Substituindo a equação 2.1, que define a relação entre o caudal e o diferencial de pressão, na equação 4.1 obtém-se:

$$y = y_0 - C' \times \Delta p^n \quad (4.2)$$

Onde a constante C' incorpora o produto de k vezes C .

- Definindo-se o critério de ajuste entre os dados e a função de aproximação como sendo o somatório do quadrado da diferença entre o número de *pixels* acima de TRef para determinada diferença de pressão e o valor dado pela equação 4.2, minimizou-se este erro utilizando-se o algoritmo de otimização numérica *Solver* disponível no *Excel*. Obtiveram-se assim os valores ótimos, segundo este critério, para os parâmetros, y_0 , C' e n .

Nos ensaios “Canto superior direito da janela em vista frontal com aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica - CFcac” e “Roldana inferior da fita de estore em vista frontal com aquecimento de cartolina - RFcac”, em que se captaram termogramas ao longo do tempo para um dado diferencial de pressão constante, a metodologia de tratamento dos resultados foi a seguinte:

- Definição nos termogramas da área a considerar na análise dos resultados, através do programa *InfReC Analyzer*.
- Registo do intervalo de tempo, Δt , em relação ao primeiro termograma captado e da temperatura média na área selecionada, para cada imagem térmica.
- Representação gráfica da evolução temporal da temperatura média referida no ponto anterior.
- Definição de uma função de aproximação à evolução da temperatura ao longo do tempo para cada ciclo de ensaio. A variação inicial muito brusca da temperatura da área selecionada, que tende posteriormente para valores próximos da temperatura ambiente, permitiu a seleção de uma função do tipo exponencial, o que seria de esperar tendo em conta as leis da física que regem processos térmicos desta natureza. O fluxo de calor q , ou seja, a quantidade de calor trocada por unidade de tempo por um corpo à temperatura θ_m imerso num fluido à temperatura θ_0 é dada pela seguinte equação [28], [29]:

$$q = \frac{\theta_0 - \theta_m(t)}{R} \quad [\text{kcal/s}] \quad (4.3)$$

Em que R é a resistência térmica do corpo ao fluxo de calor entre ele e o fluido [$^{\circ}\text{C.s/kcal}$].

A variação do calor armazenado num corpo como resultado da sua variação de temperatura de $\theta_m(0)$ para $\theta_m(t)$ é dado por:

$$C_{term} \times (\theta_m(t) - \theta_m(0)) \quad [\text{kcal}] \quad (4.4)$$

sendo C_{term} a capacidade térmica do corpo [$\text{kcal}/^{\circ}\text{C}$].

Utilizando a equação de equilíbrio de calor, resulta:

$$C_{term} \frac{d}{dt} (\theta_m(t) - \theta_m(0)) = \frac{\theta_0 - \theta_m(t)}{R} \quad [\text{kcal/s}] \quad (4.5)$$

Que pode ser escrito na forma:

$$RC_{term} \frac{d\theta_m(t)}{dt} = \theta_0 - \theta_m(t) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.6)$$

A solução da equação diferencial anterior tem a seguinte expressão:

$$\theta_m(t) = \theta_m(0) - (\theta_m(0) - \theta_0) \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.7)$$

Onde RC_{term} é a constante de tempo térmica τ [s].

- Definindo-se o critério de ajuste entre os dados e a função de aproximação como sendo o somatório do quadrado da diferença entre a temperatura média da zona num dado instante de tempo e o valor dado pela equação 4.7, minimizou-se este erro utilizando-se o algoritmo de otimização numérica *Solver* disponível no *Excel*. Obtiveram-se assim os valores ótimos, segundo este critério, para os parâmetros, $\theta_m(0)$, θ_0 e τ .

Em relação à definição da taxa de arrefecimento das zonas em estudo nos ensaios “Canto superior direito da janela em vista frontal com aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica - CFcac” e “Roldana inferior da fita de estore em vista frontal com aquecimento de cartolina - RFcac”, os passos efetuados foram os seguintes:

- Definiu-se graficamente a taxa de arrefecimento da zona de influência recorrendo a uma aproximação numérica da derivada através da diferença de temperaturas dividida pela diferença do tempo decorrido entre dois pontos sucessivos. Esta é uma aproximação numérica que corresponde ao verdadeiro valor da derivada algures num tempo intermédio, que no presente caso, considerou-se o ponto central do intervalo de tempo em causa.
- Definição de uma função de aproximação da taxa de arrefecimento da zona de influência tendo em consideração que a taxa de arrefecimento inicial é muito elevada no início do ensaio, decaindo rapidamente para valores próximos de zero, pois a temperatura da superfície estabiliza ao fim de algum tempo. A função de aproximação utilizada obtém-se derivando a equação 4.7 em ordem ao tempo, resultando a seguinte expressão:

$$y_{ta} = \frac{d\theta_m(t)}{dt} = \left(\frac{\theta_0 - \theta_m(0)}{\tau} \right) \times e^{-\frac{t}{\tau}} = y_{ta0} \times e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ [}^\circ\text{C/s]} \quad (4.8)$$

Sendo y_{ta} a taxa de variação da temperatura.

- Definiu-se como critério de ajuste entre os dados e a função de aproximação o somatório do quadrado da diferença entre os dados registados e o valor dado pela equação. Minimizou-se este erro utilizando-se o algoritmo de otimização numérica *Solver* disponível no *Excel*. Obtiveram-se assim os valores ótimos para os parâmetros y_{ta0} e τ da referida equação.

No ensaio “Roldana inferior da fita de estore em vista frontal com aquecimento de cartolina - RFcac”, o tratamento dos resultados incluiu ainda a definição de uma segunda área fora da zona de influência. Esta segunda área sofre uma evolução térmica ao longo do tempo mais dependente das condições ambientais do que do fluxo de ar que entra pela roldana e foi definida de modo a ter uma temperatura média inicial próxima da zona de influência. A evolução da sua temperatura média foi utilizada como temperatura média de referência para posterior comparação. Desta comparação resulta uma diferença de temperatura média entre as duas zonas que tende a estabilizar num valor final.

4.1.2. JANELA EM VISTA FRONTAL COM AQUECIMENTO DA PAREDE - JFCA

Nos termogramas dos ensaios JFca, a área retangular selecionada para se proceder ao tratamento de dados foi a indicada na Figura 4.1. A Figura 4.2 mostra os termogramas efetuados e a Figura 4.3 os histogramas correspondentes a cada diferencial de pressão para o ensaio realizado no dia 13 de Novembro, de acordo com o procedimento descrito no § 4.1.1. Estes histogramas representam, tal como referido anteriormente, o número de *pixels* existentes na área selecionada para cada intervalo de temperatura.

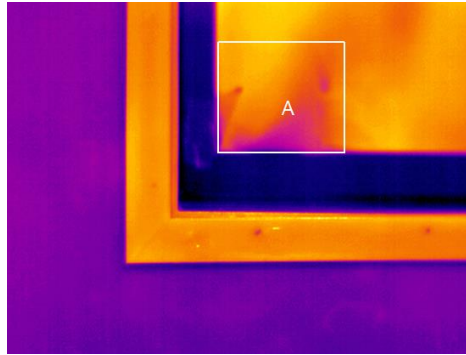


Figura 4.1. Zona selecionada para análise dos dados nos ensaios JFca

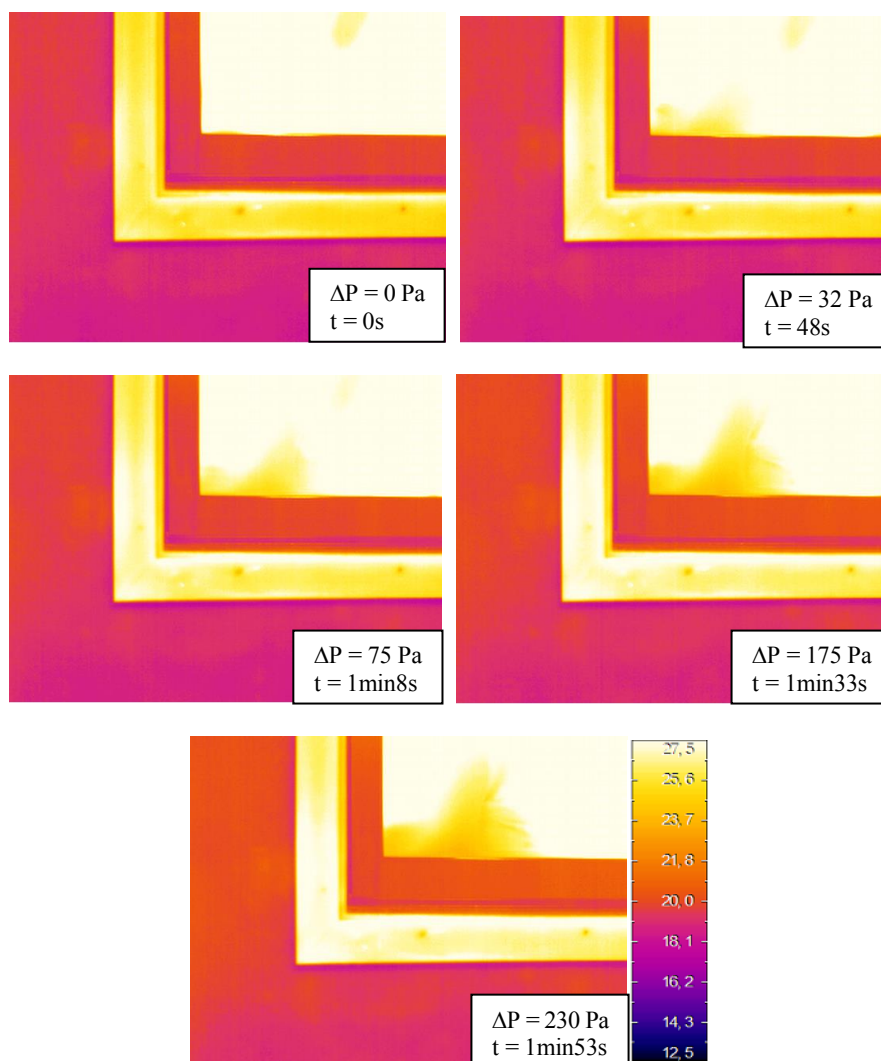


Figura 4.2. Sequência de imagens térmicas do ensaio JFca no dia 13 de Novembro

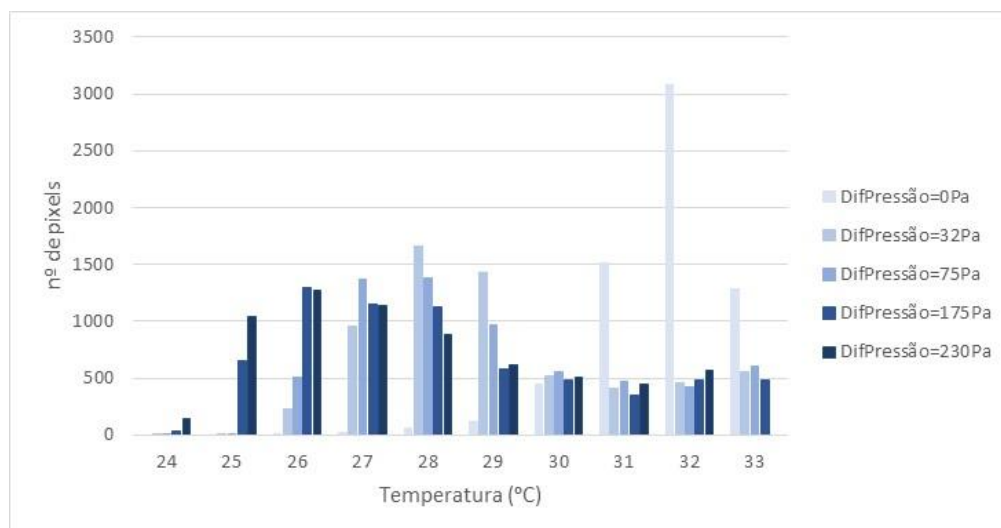


Figura 4.3. Histograma do número de *pixels* em função da temperatura para diferentes diferenciais de pressão – Ensaio JFca de dia 13 de Novembro

Com o aumento do diferencial de pressão, verifica-se uma translação muito evidente do número de *pixels* para a esquerda do histograma, ou seja, o número de *pixels* nas gamas correspondentes a temperaturas mais elevadas diminui, aumentando nas gamas de temperaturas mais baixas. Este facto resulta do ar frio proveniente do exterior, que entra pela abertura em estudo, estar a arrefecer a superfície, nomeadamente, a área seleccionada.

Efetuada uma análise de sensibilidade, escolheu-se como temperatura de referência (T_{Ref}) para o ensaio do dia 13 de Novembro 28°C , correspondendo esta temperatura ao valor acima do qual se contabilizou o número de *pixels* existentes na área seleccionada. A Tabela 4.1 e a Figura 4.4 mostram a variação do número de *pixels* acima da temperatura de referência (28°C) em função do diferencial de pressão e o número de *pixels* dado pela sua função de aproximação. A Figura 4.5 mostra a mesma variação para os ensaios realizados nos restantes dias e a Tabela 4.2 indica para todos os ensaios as temperaturas exterior e interior medidas, a temperatura de referência adotada e os parâmetros de ajuste da função de aproximação.

Tabela 4.1. Tabela realizada para o ensaio JFca do dia 13 de Novembro

$T_{Ref}=28^{\circ}\text{C}$					
Δp	Nºpixels	FunçãoAproximação	erro ²		
0	6439	6441,14	4,60	C	1220,074
32	3760	3701,57	3414,18	n	0,233
75	3016	3099,05	6896,48	y ₀	6441,144
175	2364	2368,24	18,00		
230	2131	2099,98	961,96		
Soma erro ²			11295,21		

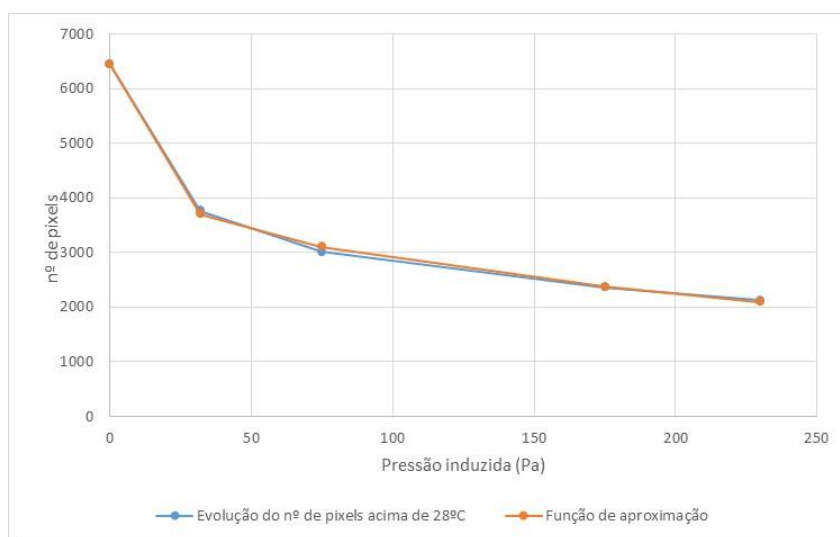
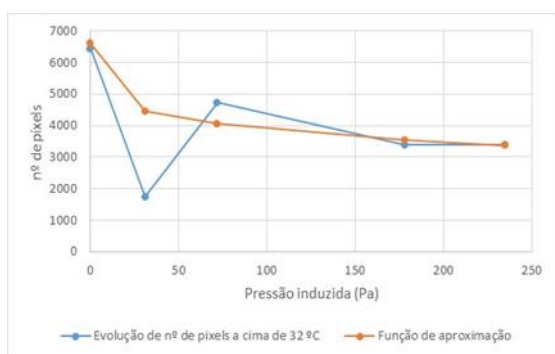
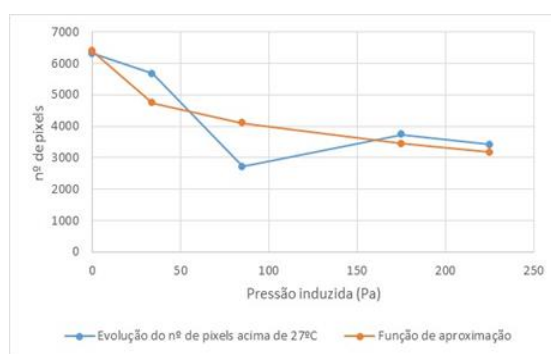


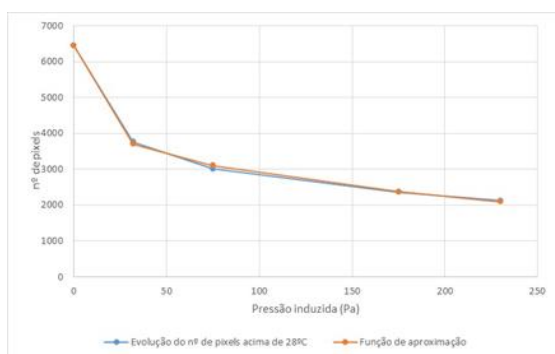
Figura 4.4. Número de *pixels* acima de 28 °C vs Pressão induzida – Ensaio JFca de dia 13 de Novembro



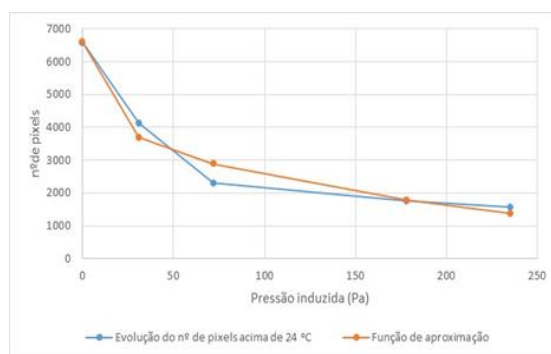
a)



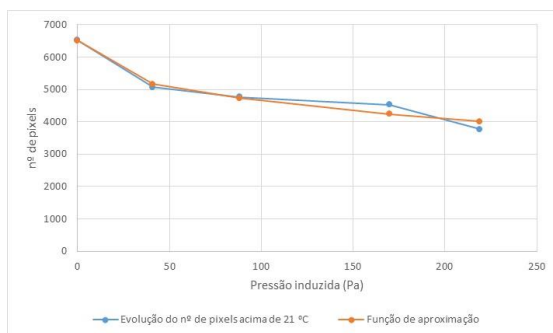
b)



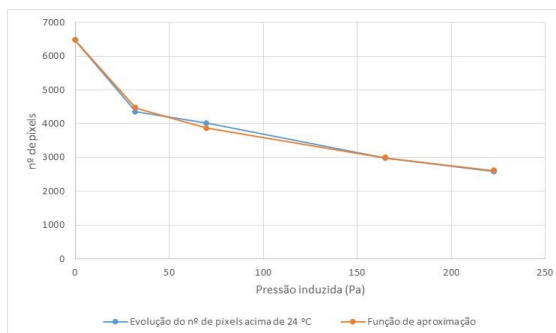
c)



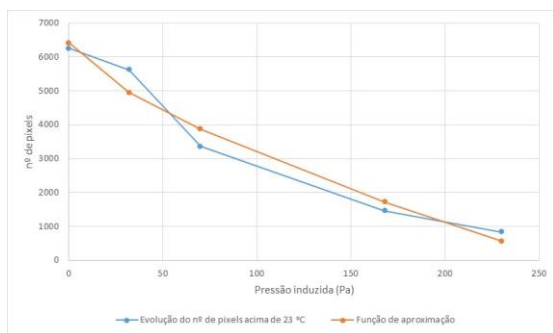
d)



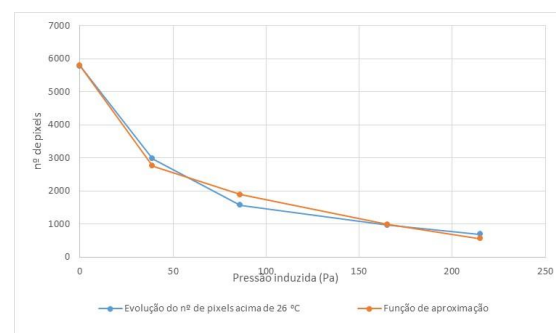
e)



f)



g)



h)

Figura 4.5. N° de *pixels* acima da TRef vs Pressão induzida para os ensaios JFca: a) 20 de Outubro (TRef=32°C); b) 2 de Novembro (TRef=27°C); c) 13 de Novembro (TRef=28°C); d) 27 de Novembro_1 (TRef=24°C); e) 27 de Novembro_2 (TRef=21°C); f) 15 de Dezembro_1 (TRef=24°C); g) 15 de Dezembro_2 (TRef=26°C); h) 21 de Dezembro (TRef=23°C)

Tabela 4.2. Temperaturas exterior e interior, temperatura de referência e parâmetros de ajuste da função de aproximação para todos os ensaios JFca realizados

JFca	Text(°C)	Tint(°C)	TRef(°C)	y_0	C	n
20/out	24	23	32	6600	1083	0,20
02/nov	15	21	27	6391	470	0,36
13/nov	21	21	28	6441	1220	0,23
27/nov	16	16	24	6600	1083	0,29
27/nov	13	20	21	6508	336	0,37
15/dez	18	17	24	6464	619	0,33
15/dez	17	19	26	5795	945	0,32
21/dez	11	18	23	6411	129	0,70

A irregularidade do arrefecimento verificada nos dias 20 de Outubro e 2 de Novembro, Figura 4.5.a) e b), muito provavelmente deve-se ao facto dos ensaios nesses dias terem sido mais prolongados que os restantes, durando aproximadamente 10 minutos no dia 20 de Outubro e 7 minutos no dia 2 de

Novembro. Já nos restantes dias de ensaio, com curvas de arrefecimento bastante mais regulares, os ensaios duraram entre 1 minuto e meio a 2 minutos e meio. Outra justificação plausível para a irregularidade do arrefecimento nos primeiros dois dias pode ser o facto de o ensaio ser muito sensível ao posicionamento e fixação da cartolina preta. Como a cartolina só foi fixada nos cantos, não ficando totalmente aderente ao vidro, deformava facilmente devido às diferenças de pressão. Essas deformações eram muito mais acentuadas para ensaios mais prolongados, levando à existência de maiores heterogeneidades nas temperaturas superficiais medidas. Convém referir que a aplicação da cartolina para a realização deste ensaio era fundamental para evitar as reflexões do vidro, que condicionariam fortemente os resultados, tirando-lhes fiabilidade. Por outro lado, a fixação integral da cartolina também não era viável, pois a presença da fita adesiva era detetada nos termogramas, podendo interferir nos resultados.

O efeito do período de aquecimento mais prolongado no dia 20 de Outubro é também perceptível pela simples observação dos termogramas da Figura 4.6. Realmente, verifica-se um aumento significativo da temperatura da superfície, o que se traduz num aumento do número de *pixels* acima da temperatura de referência. Com a estabilização da temperatura, a tender para o equilíbrio térmico, a variação do número de *pixels* com temperatura superior à temperatura de referência passa a ter um andamento mais próximo do esperado, Figura 4.5.a).

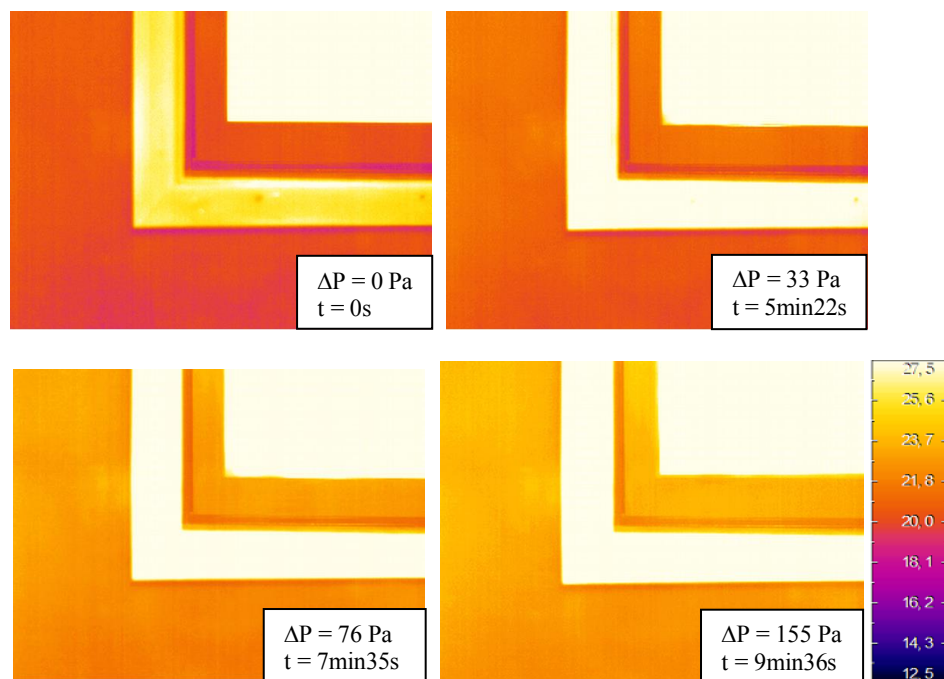


Figura 4.6. Sequência de imagens da JFca no dia 20 de Outubro

A variação não expectável do número de *pixels* em função dos diferenciais de pressão verificada no dia 2 de Novembro, Figura 4.5.b), também resulta numa variação anómala da temperatura superficial na zona seleccionada no termograma, Figura 4.7, que pode ter resultado do empolamento mais acentuado da cartolina devido a uma fixação menos eficaz. Este facto é mais perceptível quando se comparam as

imagens térmicas captadas para um ΔP de 85 Pa e para um ΔP de 175 Pa, que para a menor pressão a área mais fria é claramente superior, abrangendo uma zona relativamente afastada da entrada de ar.

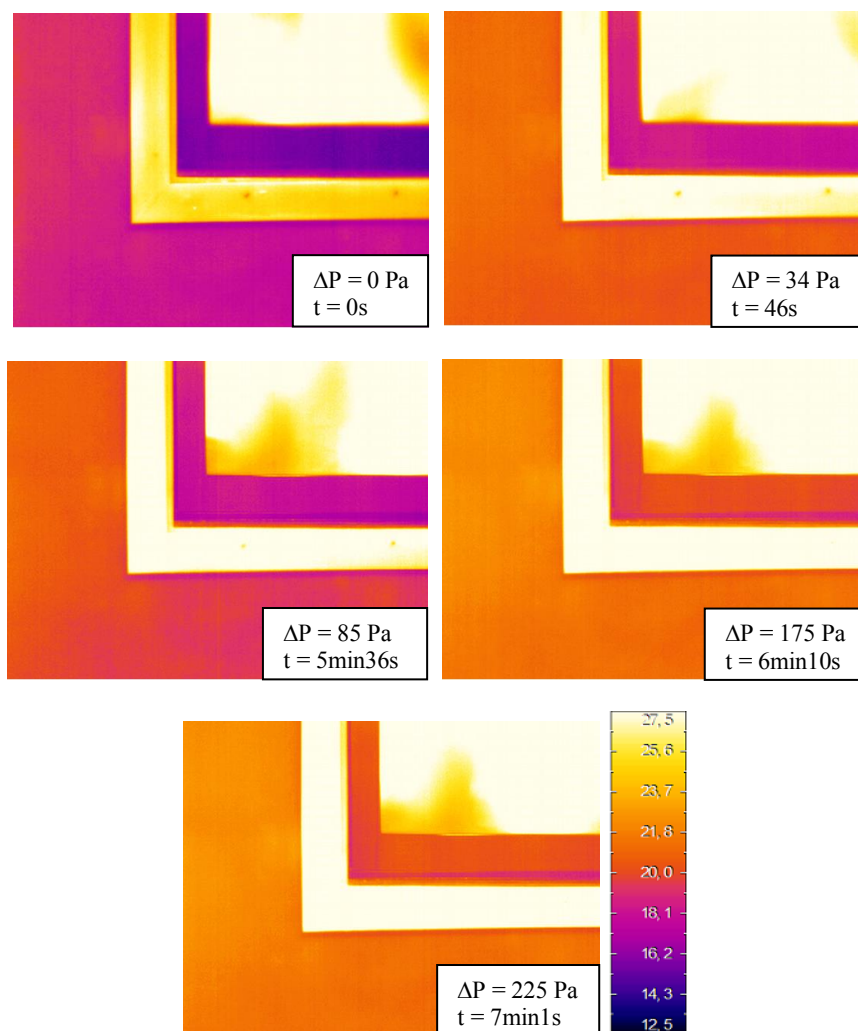


Figura 4.7. Sequência de imagens da JFca no dia 2 de Novembro

Nos termogramas obtidos no ensaio do dia 27 de Novembro_2, Figura 4.8, é claramente detetada uma zona mais fria no canto superior direito do termograma, perto da zona de influência selecionada e que vai aquecendo ao longo do ensaio. Esta zona fria corresponde à fixação da cartolina ao vidro, que poderia ter sido evitada se o período de aquecimento inicial da superfície tivesse sido maior. Contudo, como essa zona mais fria está fora da área selecionada para a interpretação dos resultados, a sua influência é pouco significativa, como se pode verificar na Figura 4.5. e). Uma situação semelhante ocorreu no ensaio do dia 21 de Dezembro.

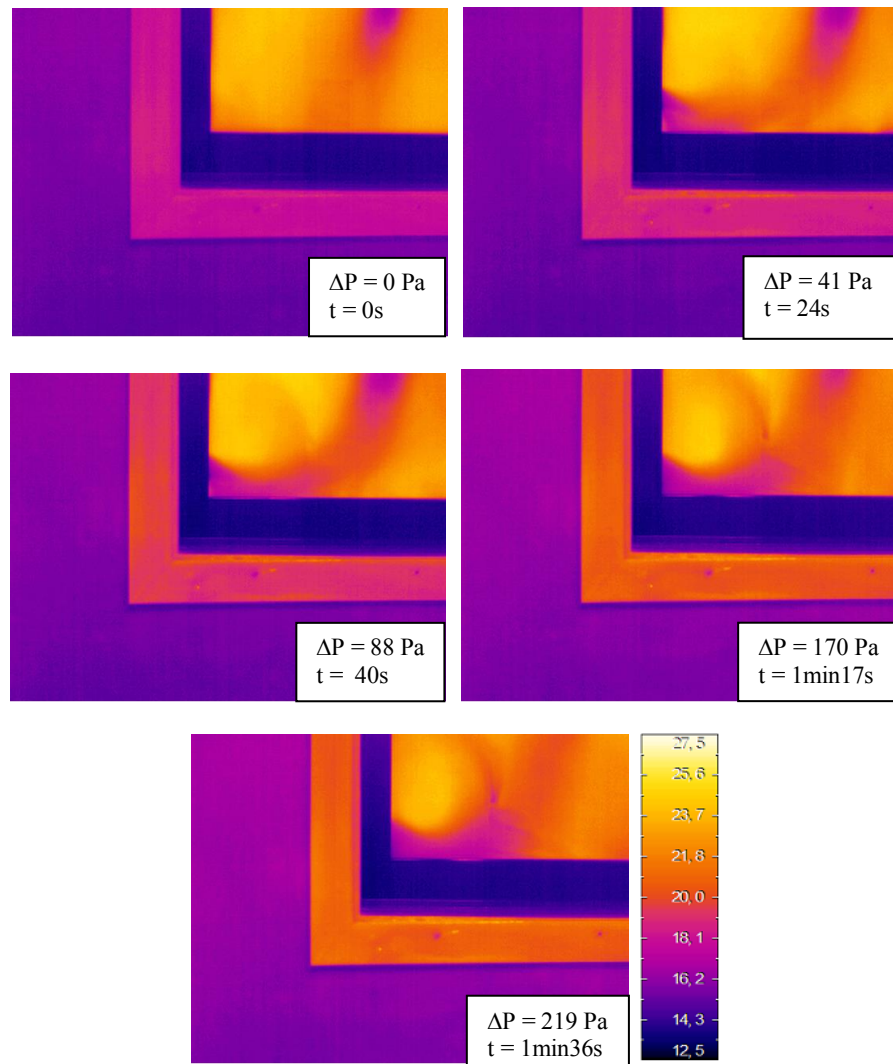


Figura 4.8. Sequência de imagens térmicas da JFca no dia 27 de Novembro_2

A Tabela 4.3 mostra as correlações existentes entre a temperatura de referência (T_{Ref}) e as temperaturas exterior (T_{ext}) e interior (T_{int}). O cálculo foi efetuado considerando todos os ensaios efetuados. Observando os valores das correlações é possível afirmar que a boa correlação entre T_{Ref} e T_{ext} indica que o ar exterior que entra pela abertura e, portanto, o arrefecimento da superfície, condiciona a escolha da T_{Ref} . Por outro lado, a boa correlação entre T_{Ref} e T_{int} indica que também a temperatura interior condiciona a temperatura da superfície que não é arrefecida pelo ar que entra e que também condiciona a escolha de T_{Ref} . Sendo melhor a correlação de T_{Ref} com T_{ext} do que com T_{int} poderá significar que a temperatura exterior influencia mais a escolha do T_{Ref} , o que faz algum sentido uma vez que a cartolina está em contacto direto com o vidro, que tendo elevada condutibilidade térmica, terá temperatura superficial muito próxima da exterior. Contudo, esta interpretação pode estar a ser condicionada pelo facto de as temperaturas exterior e interior serem praticamente iguais e pela existência de um eventual desfasamento temporal nas medições dos diferentes parâmetros (temperatura superficial medida com a câmara termográfica, temperatura exterior medida pela estação meteorológica e temperatura interior medida com sonda associada ao datalogger). Convém referir que, apesar destas correlações não traduzirem um fenómeno físico que possa eventualmente ser relacionado com a

permeabilidade da janela, é importante serem analisadas para, no futuro, se estabelecerem correlações entre os resultados da termografia e a permeabilidade dos elementos construtivos.

Tabela 4.3. Correlação entre a temperatura de referência e as temperaturas exterior e interior para os ensaios JFca

JFca	TRef(°C)	Text(°C)	Tint(°C)
20/out	32	24	23
02/nov	27	15	21
13/nov	28	21	21
27/nov	24	16	16
27/nov	21	13	20
15/dez	24	18	17
15/dez	26	17	19
21/dez	23	11	18
Correlação		0,854	0,703

Verificou-se através da interpretação dos resultados que o procedimento de ensaio é fundamental para garantir a reprodutibilidade dos resultados, nomeadamente no que diz respeito à evolução da variação da temperatura com as diferenças de pressão. Um procedimento de ensaio rígido, com temperaturas iniciais (após aquecimento prévio) perfeitamente definidas, a garantia de um aquecimento uniforme da superfície e períodos preestabelecidos fixos para as alterações nos diferenciais de pressão são imprescindíveis se se quiser estudar a influência, por exemplo, dos parâmetros climáticos (temperatura exterior, radiação, velocidade e direção do vento).

4.1.3. ROLDANA INFERIOR DA FITA DE ESTORE EM VISTA LATERAL COM AQUECIMENTO DO PAINEL DE BAIXA CONDUTIBILIDADE TÉRMICA - RLCA

A zona do termograma selecionada para o tratamento de dados dos ensaios RLca está apresentada na Figura 4.9. A Figura 4.10 mostra os termogramas efetuados no ensaio do dia 21 de Dezembro e a Figura 4.11 a variação do número de *pixels* acima da temperatura de referência em função do diferencial de pressão e o número de *pixels* dado pela respetiva função de aproximação, de acordo com o procedimento descrito no § 4.1.1, para todos os ensaios realizados. A Tabela 4.4 indica para todos os ensaios as temperaturas exterior e interior, a temperatura de referência adotada e os parâmetros de ajuste da função de aproximação.

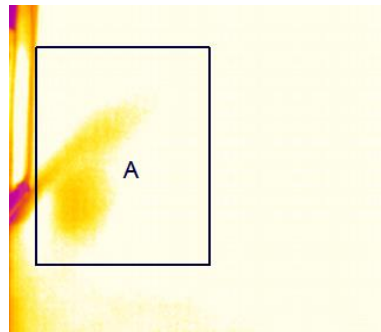


Figura 4.9. Zona selecionada para análise dos dados nos ensaios RLca

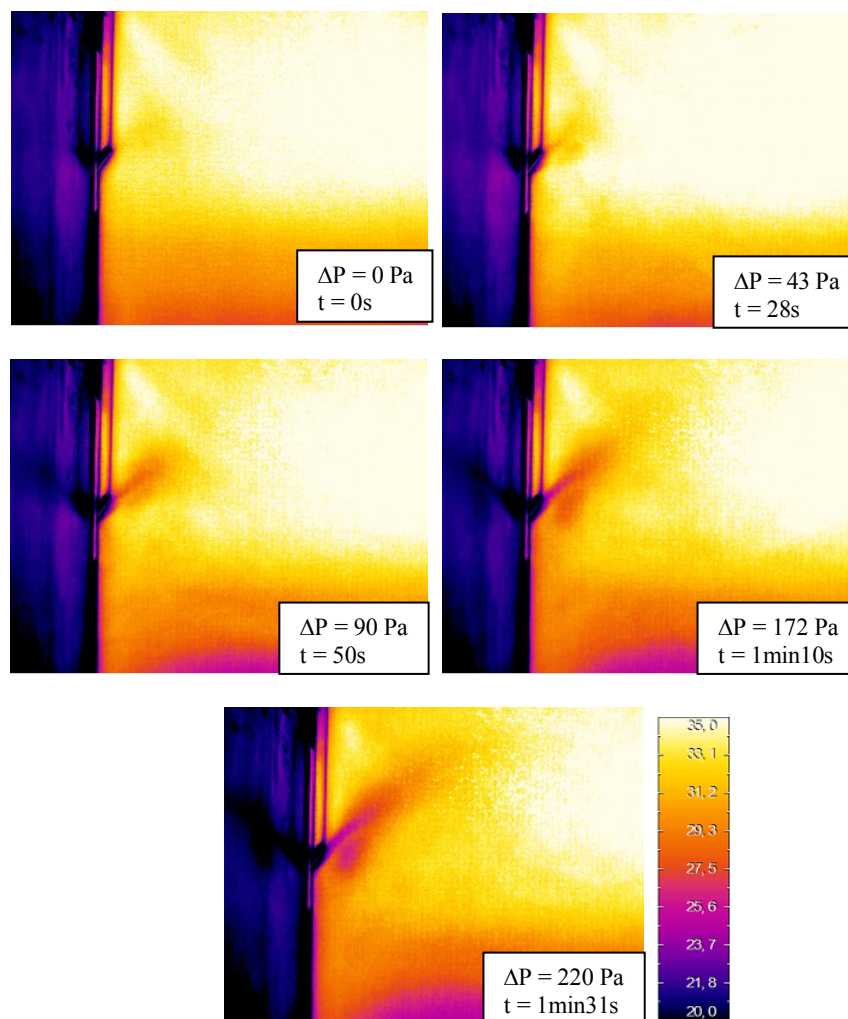
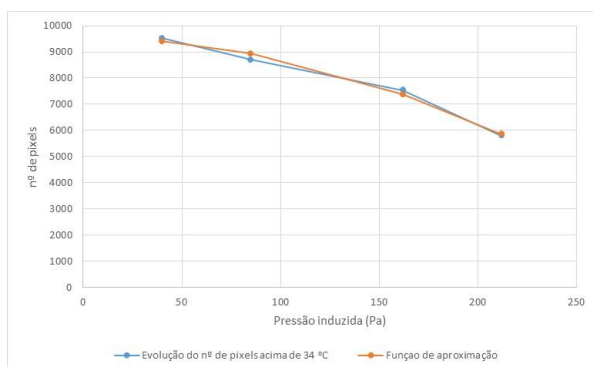
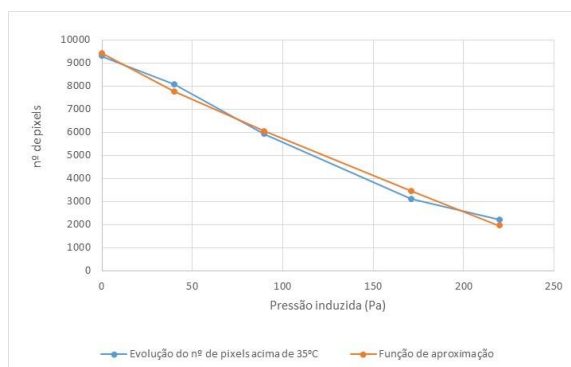


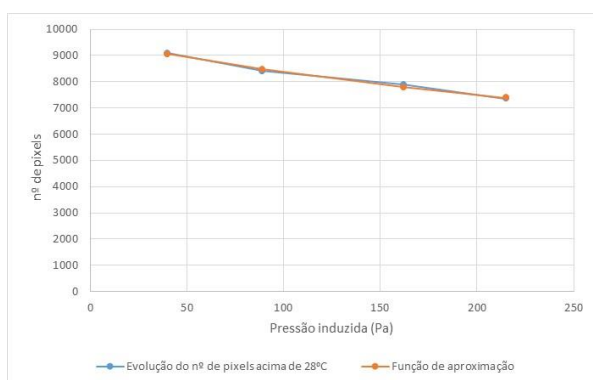
Figura 4.10. Sequência de imagens térmicas do ensaio RLca no dia 21 de Dezembro



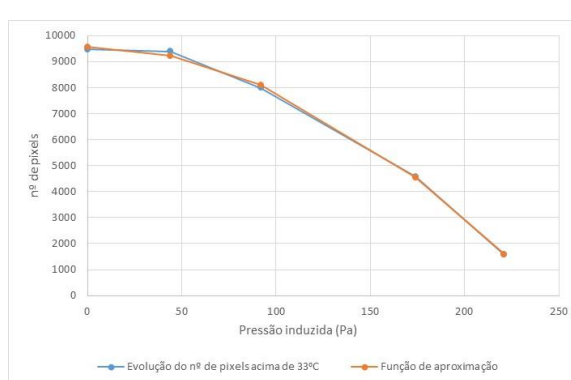
a)



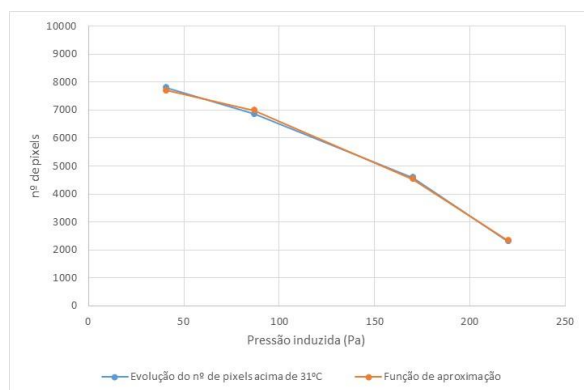
b)



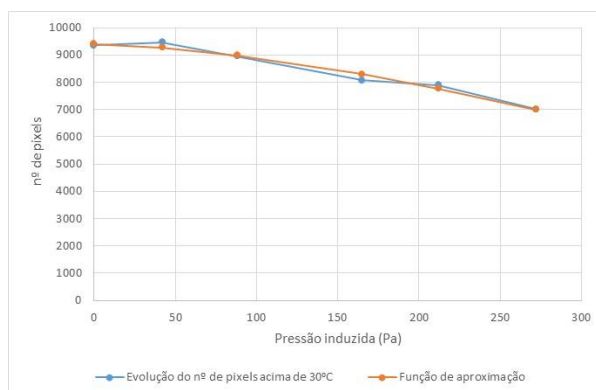
c)



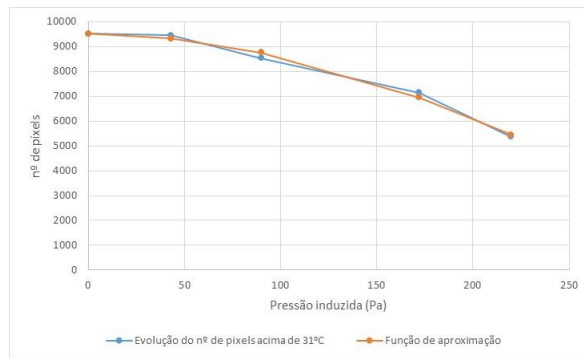
d)



e)



f)



g)

Figura 4.11. N° de *pixels* acima da T_{Ref} vs Pressão induzida para os ensaios RLca: a) 2 de Novembro ($T_{Ref}=34^{\circ}\text{C}$); b) 13 de Novembro ($T_{Ref}=35^{\circ}\text{C}$); c) 27 de Novembro_1 ($T_{Ref}=28^{\circ}\text{C}$); d) 27 de Novembro_2 ($T_{Ref}=33^{\circ}\text{C}$); e) 15 de Dezembro_1 ($T_{Ref}=31^{\circ}\text{C}$); f) 15 de Dezembro_2 ($T_{Ref}=30^{\circ}\text{C}$); g) 21 de Dezembro ($T_{Ref}=31^{\circ}\text{C}$)

Tabela 4.4. Temperaturas exterior e interior, temperatura de referência e parâmetros de ajuste da função de aproximação para todos os ensaios RLca realizados

RLca	Text($^{\circ}\text{C}$)	Tint($^{\circ}\text{C}$)	TRef($^{\circ}\text{C}$)	γ_0	C	n
02/nov	15	21	34	9549	0,11	2,00
13/nov	21	21	35	9409	62,7	0,89
27/nov	16	16	28	10071	119	0,60
27/nov	13	20	33	9566	0,23	1,90
15/dez	18	17	31	7920	0,17	1,90
15/dez	17	19	30	9396	0,37	1,60
21/dez	11	18	31	9518	0,16	1,90

Pela observação dos gráficos b) e c) da Figura 4.11, é possível observar uma evolução linear da variação do número de *pixels* em função dos diferenciais de pressão, o que não acontece com os restantes ensaios. Tal facto é também evidenciado na Tabela 4.4, onde se verifica que para estes ensaios os valores de n são próximos de 1. O ensaio de 13 de Novembro, Figura 4.12, que apresenta valores mais discrepantes, foi o ensaio onde ocorreu um maior aquecimento prévio do painel, enquanto no ensaio de 27 de Novembro_1, Figura 4.13, o aquecimento prévio do painel foi menor, originando um aumento da temperatura superficial durante o decorrer do ensaio.

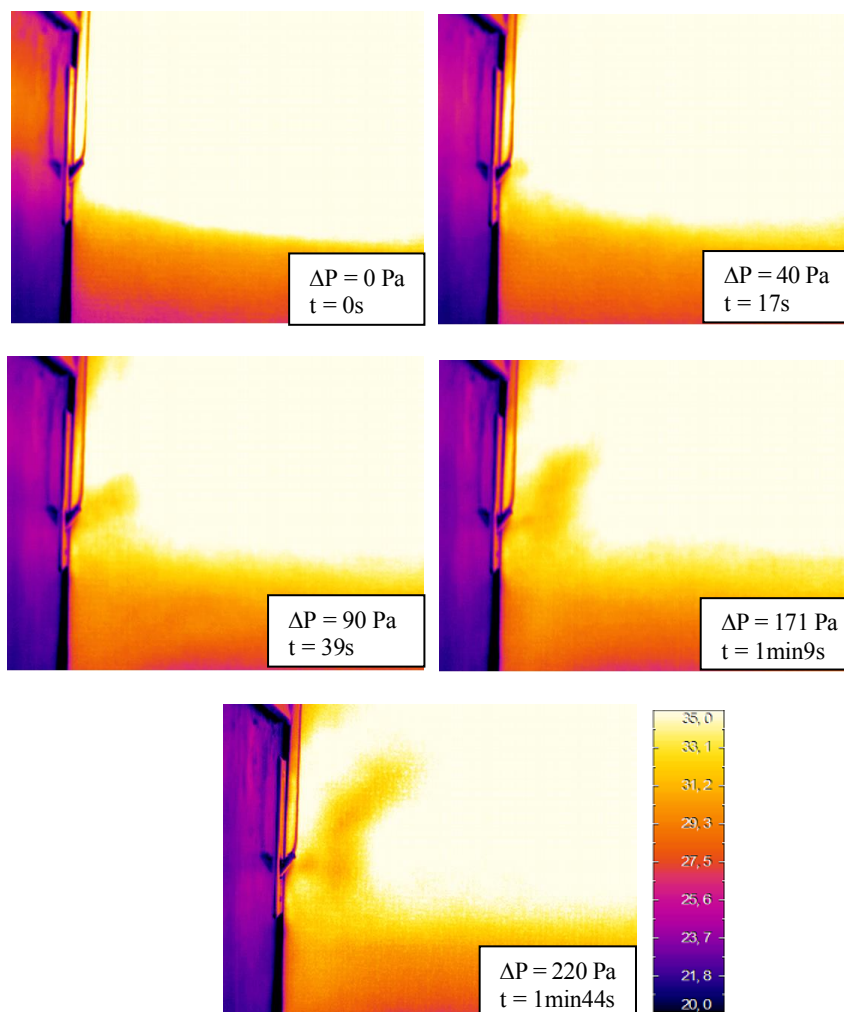


Figura 4.12. Sequência de imagens térmicas do ensaio RLca no dia 13 de Novembro

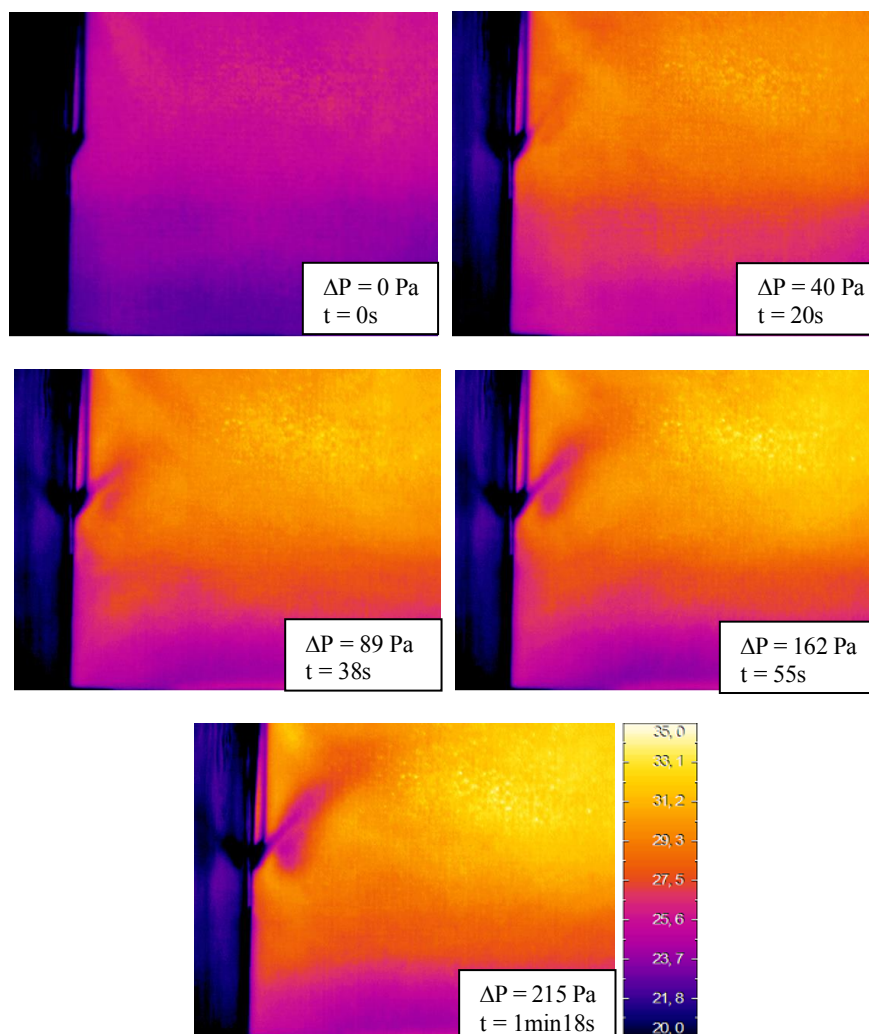


Figura 4.13. Sequência de imagens térmicas do ensaio RLca no dia 27 de Novembro_1

A Tabela 4.5 mostra as correlações existentes entre a temperatura de referência (T_{Ref}) e as temperaturas exterior (T_{ext}) e interior (T_{int}). O cálculo foi efetuado considerando todos os ensaios.

Tabela 4.5. Correlação entre a temperatura de referência e as temperaturas exterior e interior para os ensaios RLca

RLca	$T_{\text{Ref}}(^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{ext}}(^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{int}}(^{\circ}\text{C})$
02/nov	34	15	21
13/nov	35	21	21
27/nov	28	16	16
27/nov	33	13	20
15/dez	31	18	17
15/dez	30	17	19
21/dez	31	11	18
Correlação		0,224	0,904

Verifica-se que existe uma forte correlação entre a temperatura de referência (TRef) e a temperatura interior, não se verificando o mesmo em relação à temperatura exterior. Este facto permite confirmar que as fortes correlações observadas na Tabela 4.3, referente ao ensaio JFca, entre a temperatura de referência (TRef) e a temperatura exterior (Text) se devem provavelmente ao facto de a cartolina estar em contacto direto com o vidro, enquanto que neste caso a superfície em estudo (painel de baixa condutibilidade) estava no interior do compartimento.

Também nestes ensaios se notou, tal como nos JFca, que a rigidez do procedimento de ensaio é fundamental para garantir resultados fiáveis, nomeadamente no que diz respeito à temperatura inicial da superfície, que deve ser a ideal, constante e uniforme por toda a área.

4.1.4. ROLDANA INFERIOR DA FITA DE ESTORE EM VISTA FRONTAL COM AQUECIMENTO DE CARTOLINA - RFCAC

Para este ensaio realizaram-se dois tipos de análise, como referido no § 4.1.1. A primeira consistiu na avaliação da evolução temporal da temperatura média na zona de influência, Figura 4.14, e da temperatura média de uma zona de referência. Posteriormente analisou-se a evolução temporal da taxa de arrefecimento de ambas as zonas seleccionadas. Estes ensaios foram desenvolvidos para dois diferenciais de pressão: um moderado, com Δp na ordem dos 70 a 80Pa; e outro bastante elevado, com Δp na ordem dos 200Pa.

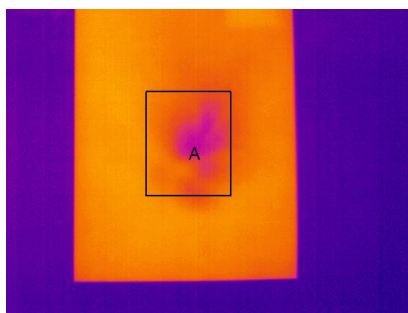


Figura 4.14. Zona seleccionada para análise de resultados dos ensaios RFcac

As Figura 4.15 e Figura 4.16 mostram as sequências de termogramas captados no ensaio do dia 27 de Novembro_1, para o diferencial de pressão moderado e para o diferencial de pressão elevado. Verifica-se que há um aumento progressivo do tamanho da mancha fria, resultante da entrada de ar frio do exterior, e uma diminuição de temperatura superficial nessa zona, com o decorrer do tempo. Também é possível observar que não é necessário um diferencial de pressão muito elevado para se tornar evidente o efeito da entrada de ar pela abertura em questão.

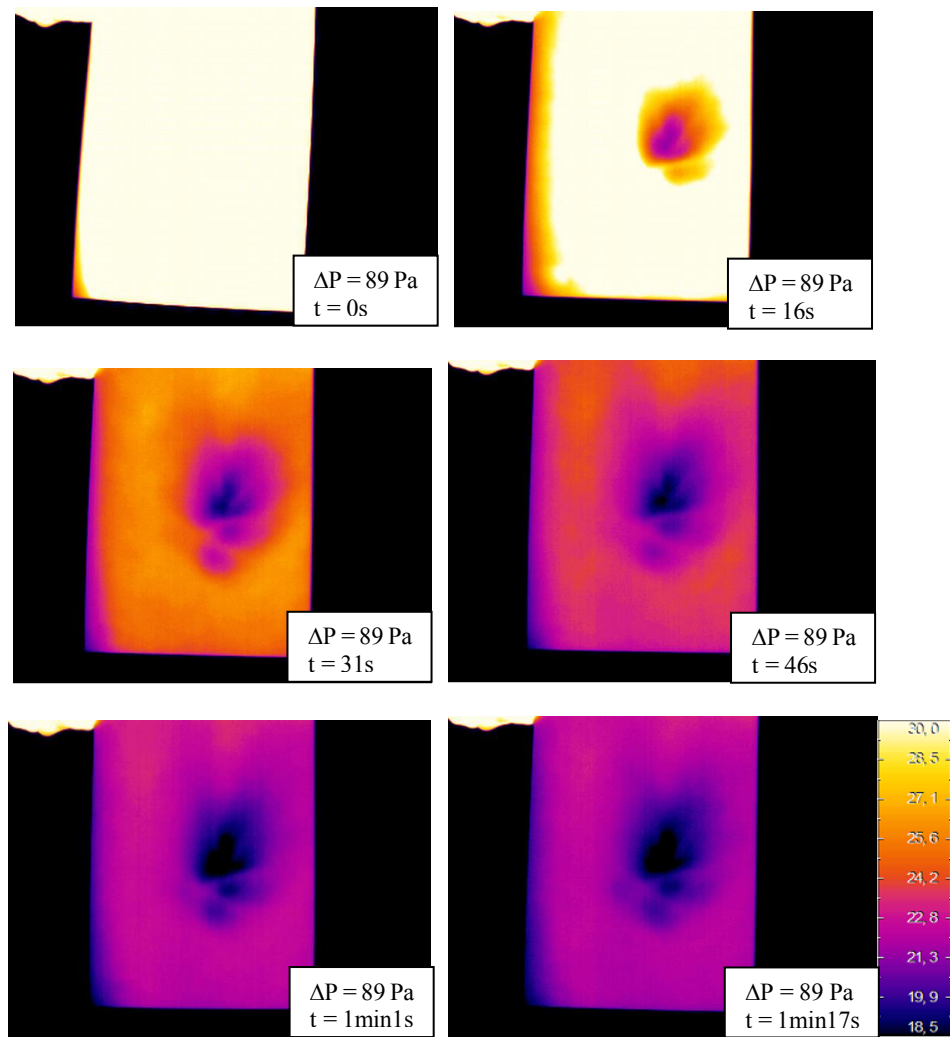


Figura 4.15. Sequência de imagens térmicas do ensaio RFcac no dia 27 de Novembro_1 (diferencial de pressão de 89Pa)

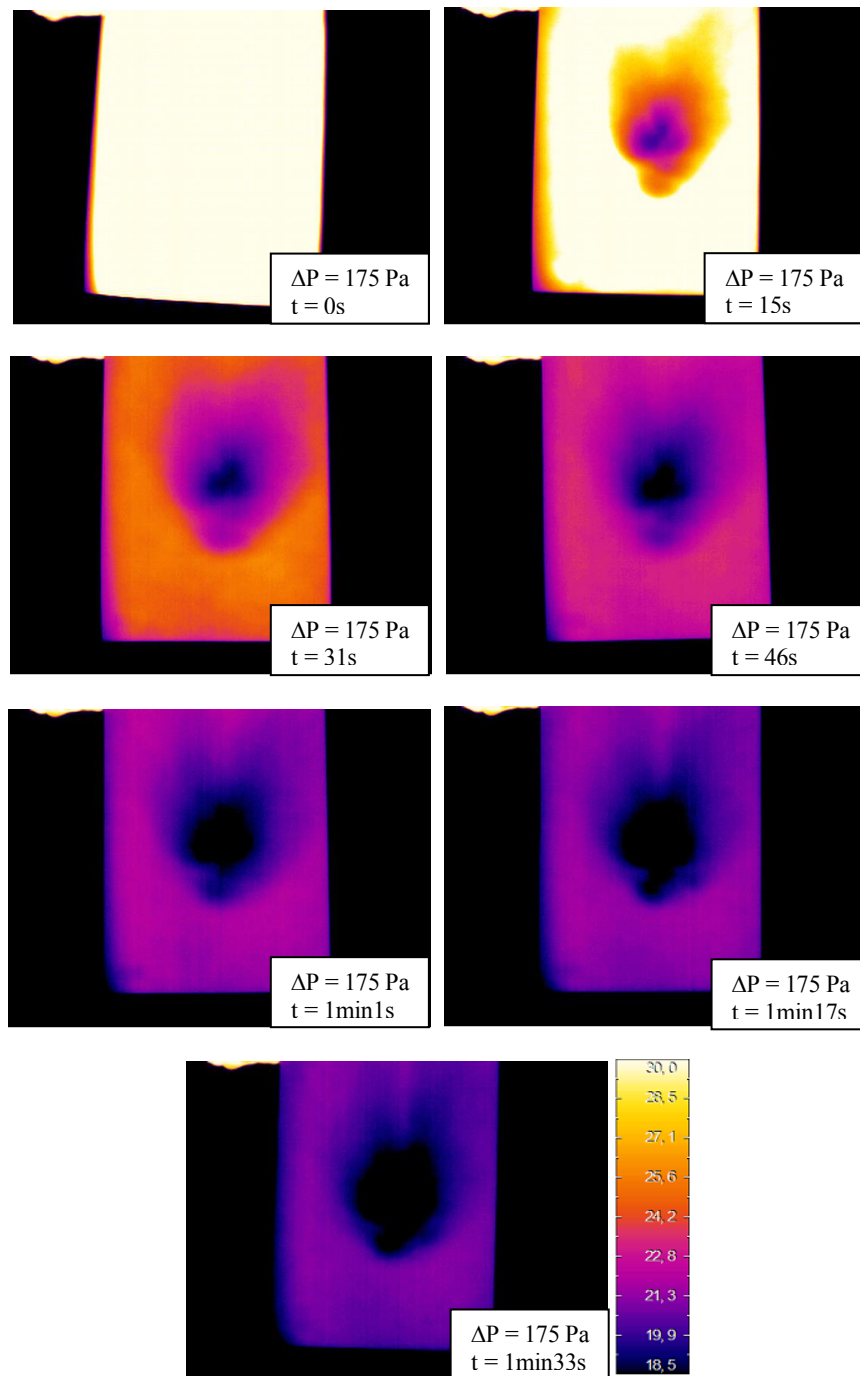


Figura 4.16. Sequência de imagens térmicas do ensaio RFcac no dia 27 de Novembro_1 (diferencial de pressão de 175Pa)

As Tabelas 4.6 e 4.7 mostram, respetivamente, os valores obtidos no tratamento dos resultados do ensaio RFcac do dia 27 de Novembro_1, para uma pressão moderada, para a obtenção da evolução da temperatura média e da taxa de arrefecimento ao longo do tempo, bem como as correspondentes funções de aproximação. Convém referir que para cada ensaio, se registou o tempo decorrido em relação ao primeiro termograma e a temperatura média na zona de influência e na zona de referência de cada

termograma. As Figuras 4.17 e 4.18 mostram a evolução no tempo da temperatura média e da taxa de arrefecimento, respetivamente.

Tabela 4.6. Valores obtidos no tratamento dos resultados do ensaio RFcac do dia 27 de Novembro_1 ($\Delta p=89\text{Pa}$) – temperatura média

Tempo(seg)	Temp. média ZonaInfluência	Função Aproximação ZI	erro ²	Temp. média ZonaReferência	Função Aproximação ZR	erro ²	Dif.Temp.médias
0	83,58	83,565	0,0002	83,83	83,802	0,0008	0,25
16	27,95	28,194	0,0593	32,97	33,286	0,1000	5,02
31	22,53	21,684	0,7162	25,36	24,631	0,5309	2,83
46	21,25	20,793	0,2091	23,42	22,937	0,2335	2,17
61	20,20	20,671	0,2216	22,26	22,605	0,1190	2,06
77	20,05	20,654	0,3644	21,96	22,538	0,3346	1,91
Soma erro ²			1,5709	Soma erro ²			1,3187
τ			7,543	τ			9,199
$\theta_m(0)$			83,57	$\theta_m(0)$			83,80
θ_0			20,65	θ_0			22,52

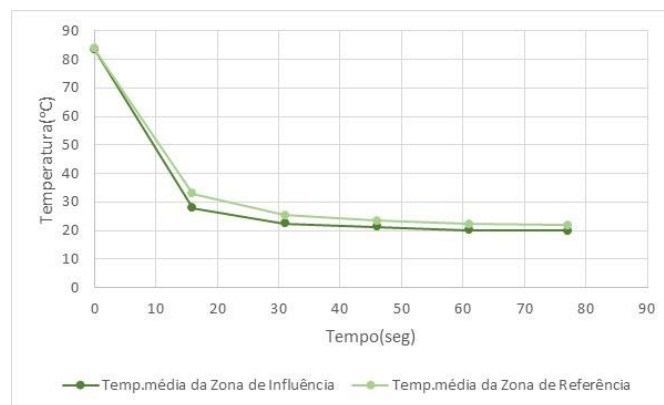


Figura 4.17. Evolução da temperatura média para o ensaio RFcac – Dia 27 de Novembro _1 ($\Delta p=89\text{Pa}$)

Tabela 4.7. Valores obtidos no tratamento dos resultados do ensaio RFcac do dia 27 de Novembro_1 ($\Delta p=89\text{Pa}$) – taxa de arrefecimento

Tempo (seg)	Tempo médio(seg)	TaxaArrefec. ZonaInfluência	Função AproximaçãoZI	erro ²	TaxaArrefec. ZonaReferência	Função AproximaçãoZR	erro2
0							
16	8	3,4769	3,4762	4,82E-07	3,1788	3,1771	2,84E-06
31	23,5	0,3613	0,3735	1,48E-04	0,5073	0,5260	3,47E-04
46	38,5	0,0853	0,0431	1,78E-03	0,1293	0,0923	1,37E-03
61	53,5	0,0700	0,0050	4,23E-03	0,0773	0,0162	3,74E-03
77	69	0,0094	0,0005	7,81E-05	0,0188	0,0027	2,58E-04
			Soma erro ²	0,006236		Soma erro ²	0,005720
			τ	6,948		τ	8,618
			γ _{ta0}	10,99		γ _{ta0}	8,038

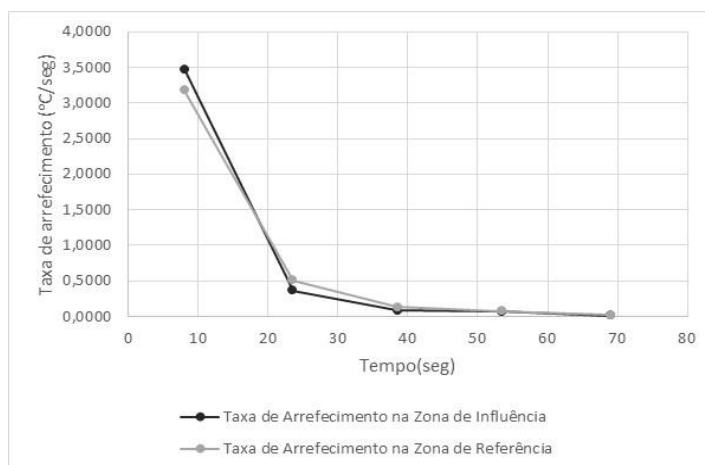
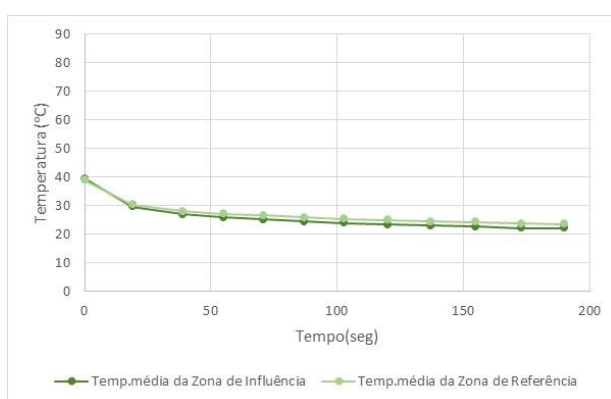


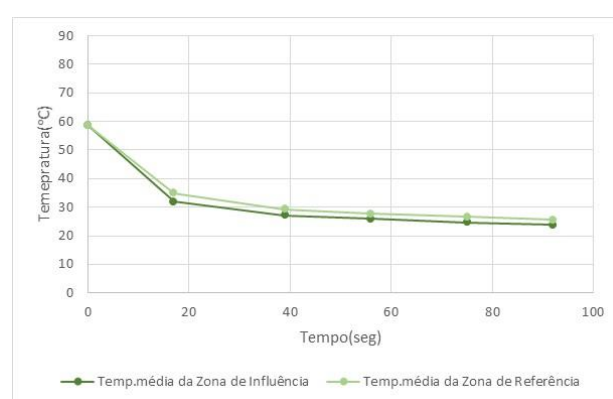
Figura 4.18. Evolução da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac – Dia 27 de Novembro _1 ($\Delta p=89\text{Pa}$)

As Figura 4.19 e Figura 4.20 mostram, para todos os ensaios RFcac para o diferencial de pressão moderado, a evolução da temperatura média e da taxa de arrefecimento, respetivamente. As Figuras 4.21 e 4.22 mostram, para todos os ensaios RFcac para o diferencial de pressão elevado, a evolução da temperatura média e da taxa de arrefecimento, respetivamente.

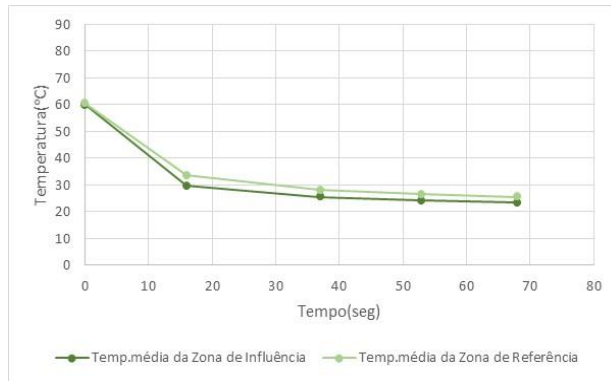
Verifica-se que para todos os ensaios que não há uma uniformidade na temperatura inicial, embora a sua evolução ao longo do tempo seja semelhante, sendo mais acentuada no início do ensaio e tendendo para a estabilização no final. O facto da temperatura inicial ser diferente nos vários ensaios condiciona também a taxa de arrefecimento, como seria de esperar. O aumento do diferencial de pressão não teve grande influência nem no tempo que decorre entre o início do ensaio e a estabilização da temperatura superficial nem na temperatura de estabilização.



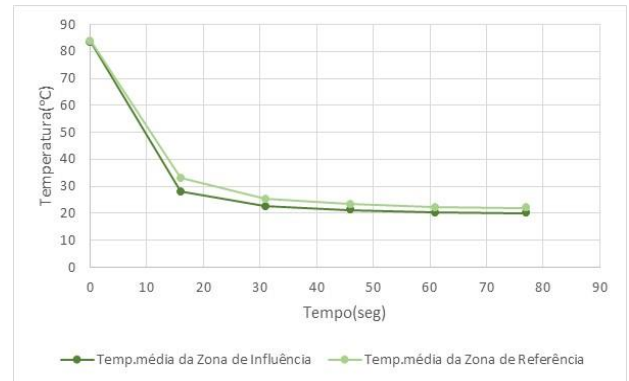
a)



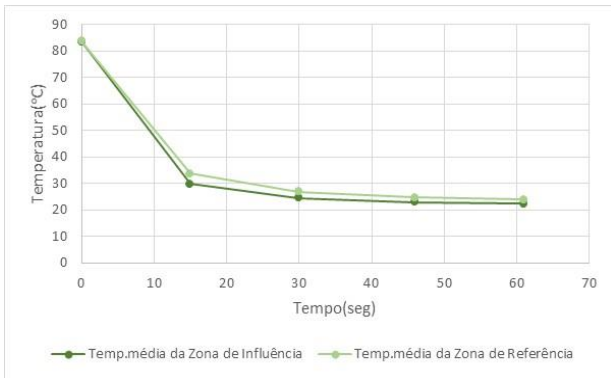
b)



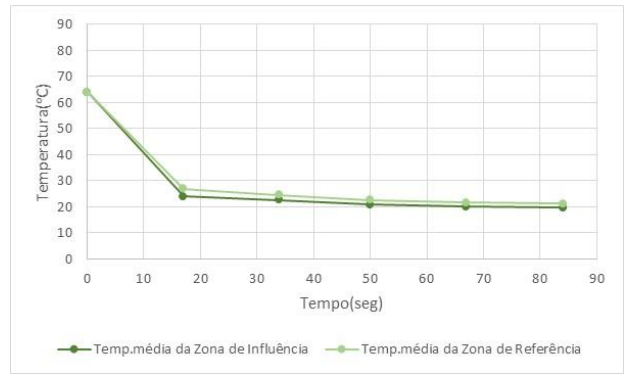
c)



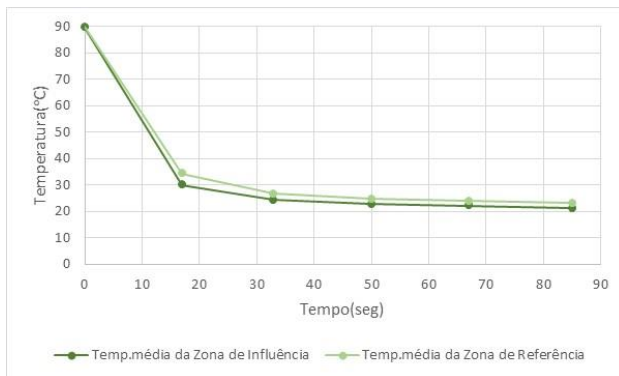
d)



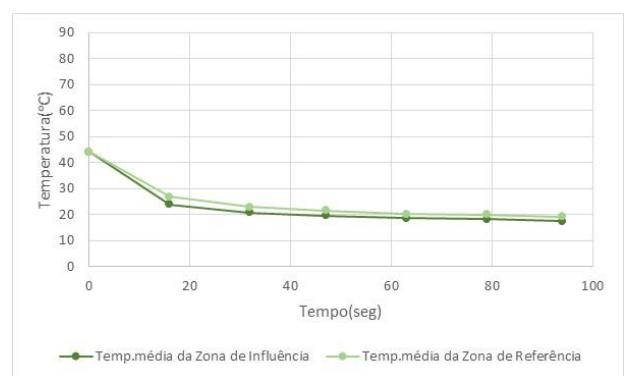
e)



f)

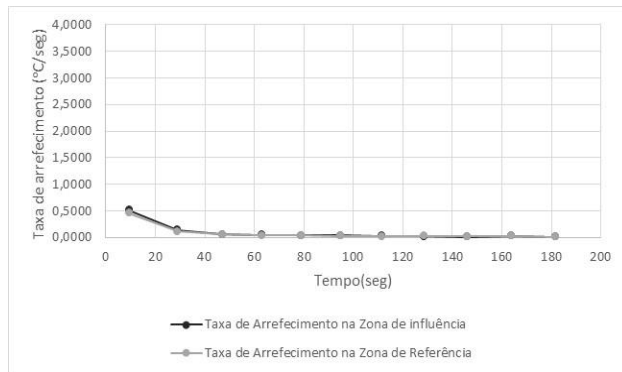


g)

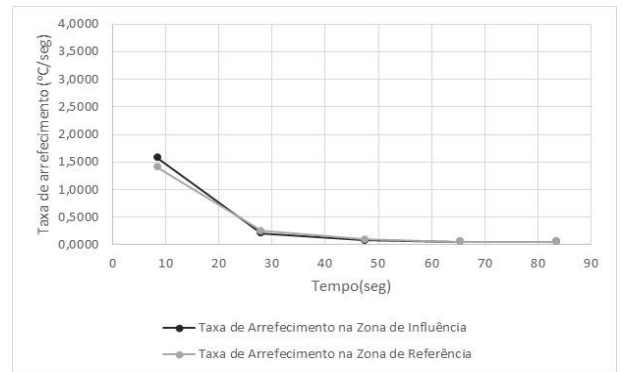


h)

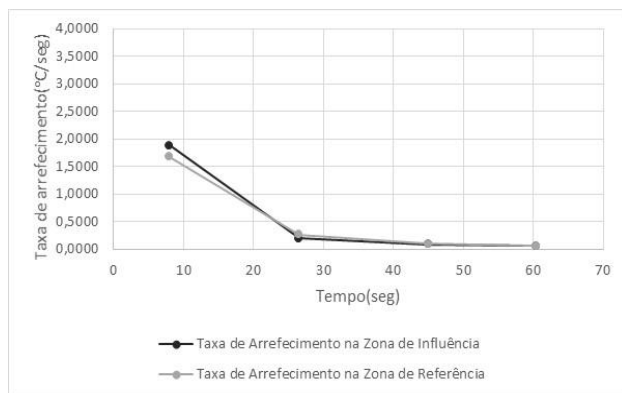
Figura 4.19. Evolução da temperatura média para o ensaio RFcac (diferenciais de pressão moderados): a) 20 de Outubro ($\Delta p=79\text{Pa}$); b) 2 de Novembro ($\Delta p=78\text{Pa}$); c) 13 de Novembro ($\Delta p=86\text{Pa}$); d) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=89\text{Pa}$); e) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=87\text{Pa}$); f) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=80\text{Pa}$); g) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=88\text{Pa}$); h) 21 de Dezembro ($\Delta p=80\text{Pa}$)



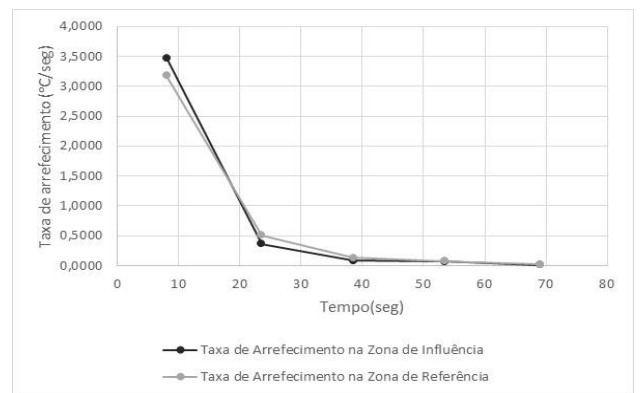
a)



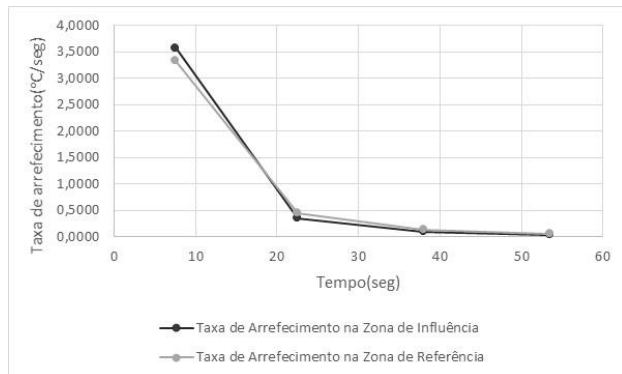
b)



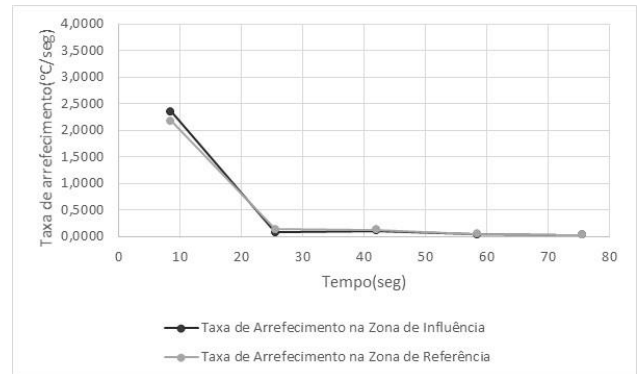
c)



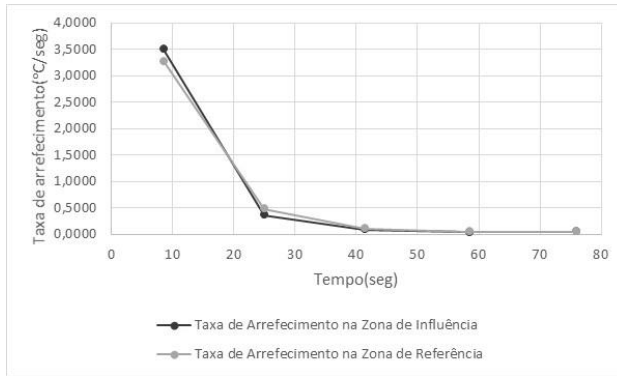
d)



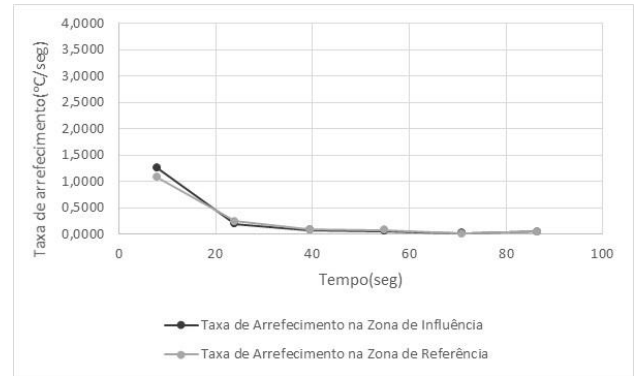
e)



f)

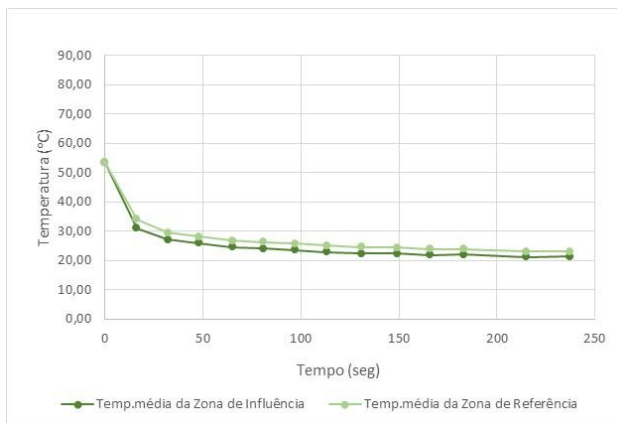


g)

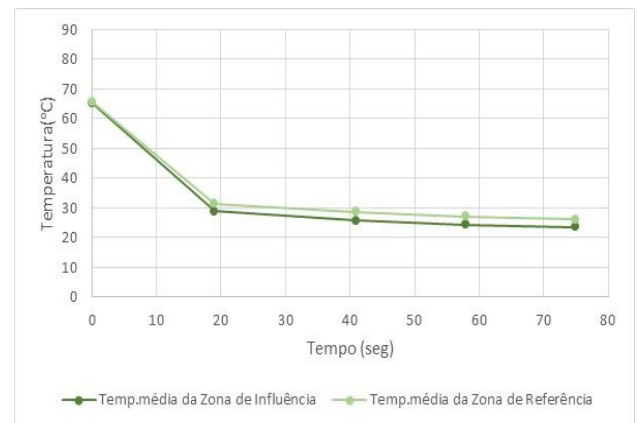


h)

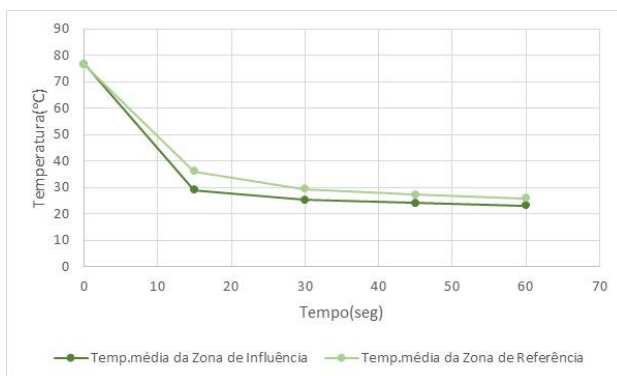
Figura 4.20. Evolução da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac (diferenciais de pressão moderados): a) 20 de Outubro ($\Delta p=79\text{Pa}$); b) 2 de Novembro ($\Delta p=78\text{Pa}$); c) 13 de Novembro ($\Delta p=86\text{Pa}$); d) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=89\text{Pa}$); e) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=87\text{Pa}$); f) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=80\text{Pa}$); g) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=88\text{Pa}$); h) 21 de Dezembro ($\Delta p=80\text{Pa}$)



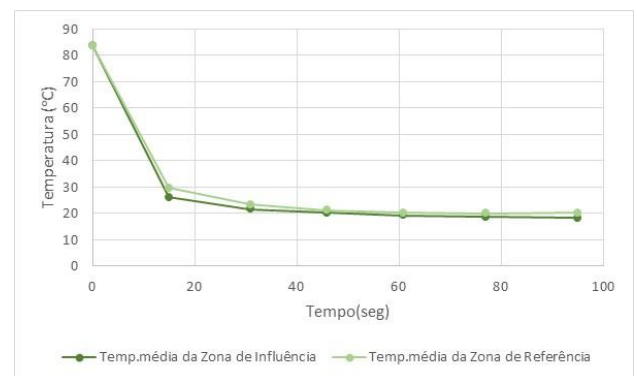
a)



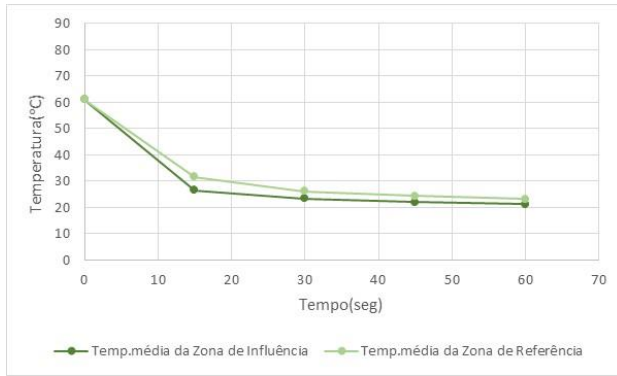
b)



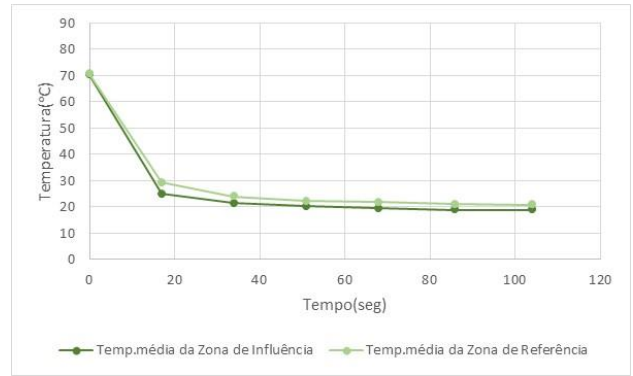
c)



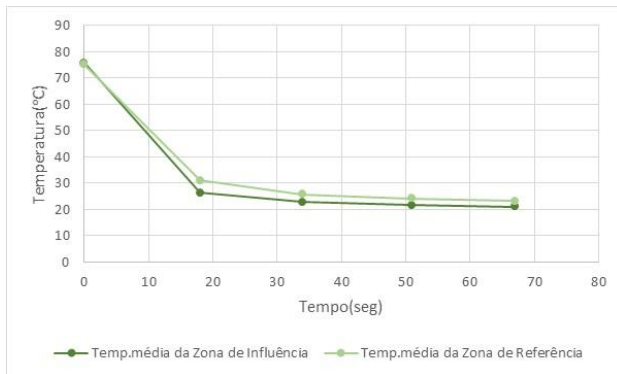
d)



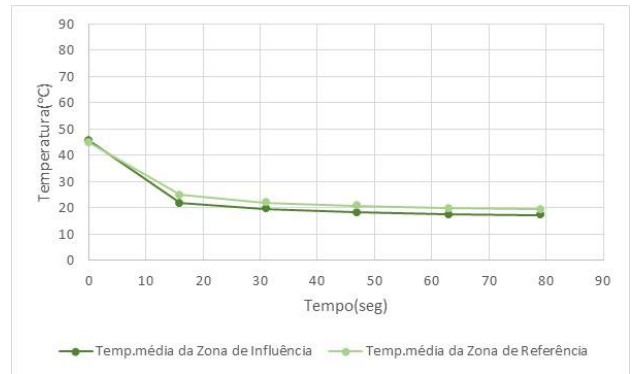
e)



f)

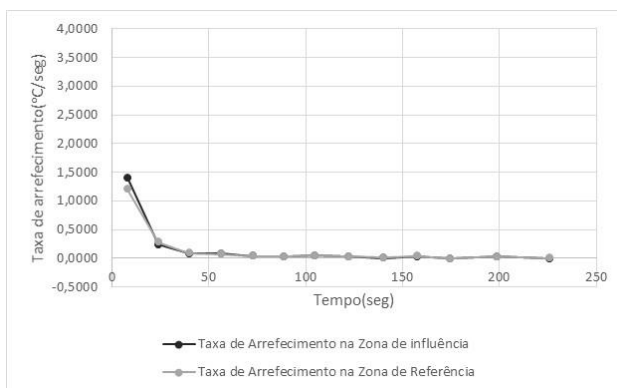


g)

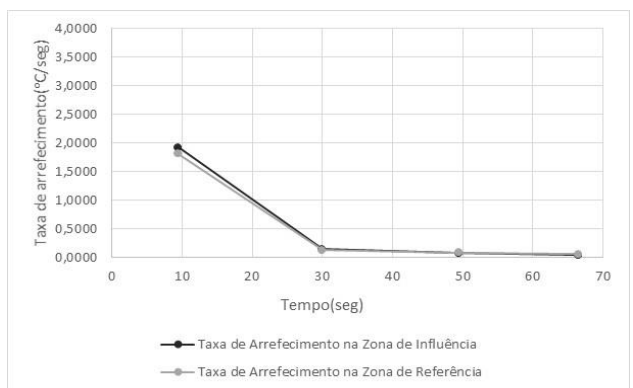


h)

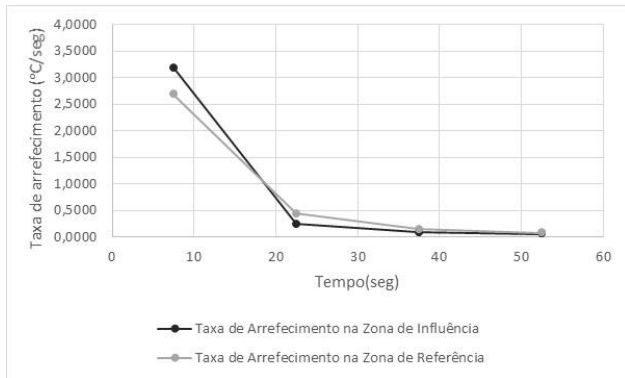
Figura 4.21. Evolução da Temperatura média para o ensaio RFcac (diferenciais de pressão elevados): a) 20 de Outubro ($\Delta p=205\text{Pa}$); b) 2 de Novembro ($\Delta p=170\text{Pa}$); c) 13 de Novembro ($\Delta p=177\text{Pa}$); d) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=175\text{Pa}$); e) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=176\text{Pa}$); f) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=172\text{Pa}$); g) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=172\text{Pa}$); h) 21 de Dezembro ($\Delta p=170\text{Pa}$)



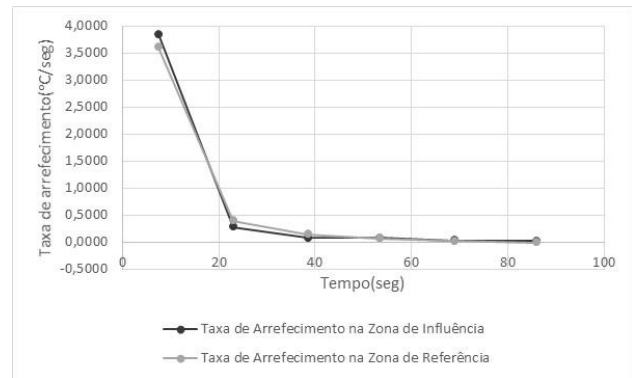
a)



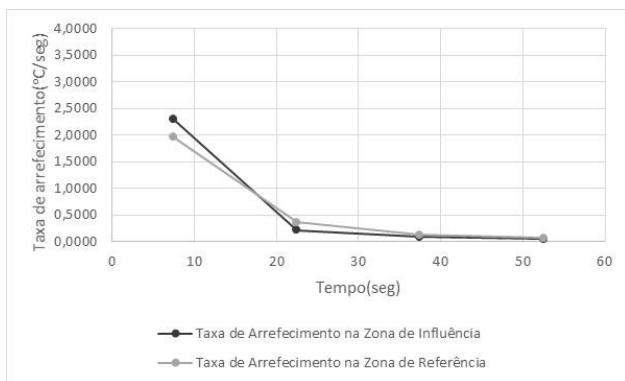
b)



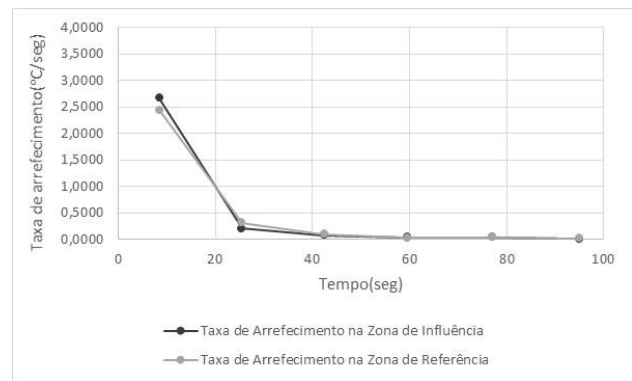
c)



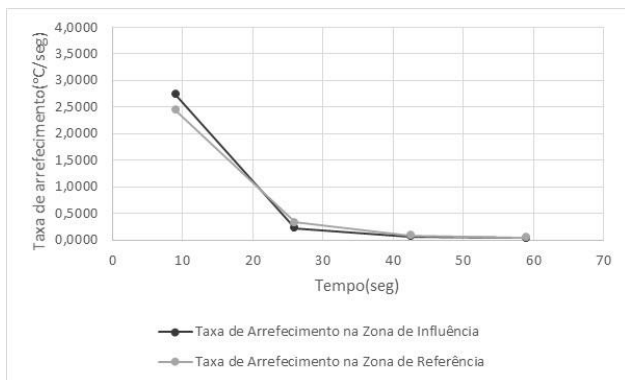
d)



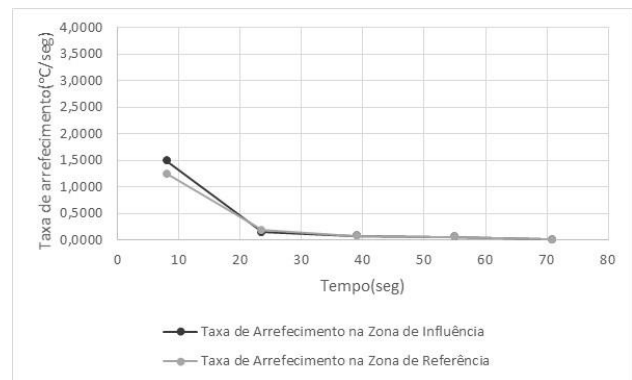
e)



f)



g)



h)

Figura 4.22. Evolução da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac (diferenciais de pressão elevados): a) 20 de Outubro ($\Delta p=205\text{Pa}$); b) 2 de Novembro ($\Delta p=170\text{Pa}$); c) 13 de Novembro ($\Delta p=177\text{Pa}$); d) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=175\text{Pa}$); e) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=176\text{Pa}$); f) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=172\text{Pa}$); g) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=172\text{Pa}$); h) 21 de Dezembro ($\Delta p=170\text{Pa}$)

As Tabelas 4.8 e 4.9 mostram as condições climáticas no exterior e as condições interiores no período de realização do ensaio, bem como os parâmetros de ajuste das funções de aproximação, para a evolução no tempo da temperatura média e da taxa de arrefecimento para a zona de influência e zona de referência, para os diferenciais de pressão moderado e elevado, respetivamente.

Tabela 4.8. Condições climáticas exteriores e interiores e parâmetros de ajuste da função de aproximação da evolução da temperatura e da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac (Δp moderado)

							Evol- Temp. Média					Taxa de arrefecimento			
Data	ΔP	Vel. Ar (m/s)	Vel. Vento(m/s)	Dir. Vento(°)	Text(°C)	Tint(°C)	$\theta_m(0)$	θ_0	Dif.temp. médias(°C)	τ (ZI)	τ (ZR)	τ (ZI)	τ (ZR)	$y_{ta0}(ZI)$	$y_{ta0}(ZR)$
20/10/2015	79	1,3	5,0	282	24,8	23,6	39,5	22,1	1,46	28,3	29,1	17,2	16,2	0,51	0,46
02/11/2015	78	1,9	1,4	145	14,2	22,9	58,8	23,8	1,89	11,2	13,2	10,1	12,1	1,58	1,40
13/11/2015	86	1,3	1,0	204	20,3	21,8	59,9	23,4	2,31	8,8	10,7	8,4	10,5	1,88	1,67
27/11/2015	89	1,5	1,1	196	15,5	15,6	83,6	20,1	2,05	7,54	9,20	6,95	8,62	3,48	3,18
27/11/2015	87	1,6	0,9	251	13,1	25,0	83,6	22,3	1,94	7,03	8,19	6,60	7,68	3,58	3,33
15/12/2015	80	1,5	4,4	138	18,5	17,4	64,0	19,6	1,61	6,85	8,11	4,25	6,48	2,35	2,18
15/12/2015	88	1,5	2,4	90	16,9	19,1	89,6	21,2	2,08	8,04	9,35	7,38	8,75	3,50	3,27
21/12/2015	80	1,8	2,6	75,9	11,1	19,8	44,1	17,5	1,78	11,1	13,8	9,23	11,7	1,26	1,08

Tabela 4.9. Condições climáticas exteriores e interiores e parâmetros de ajuste da função de aproximação da evolução da temperatura e da taxa de arrefecimento para o ensaio RFcac (Δp elevado)

							Evol- Temp. Média					Taxa de arrefecimento			
Data	ΔP	Vel. Ar (m/s)	Vel. Vento(m/s)	Dir. Vento(°)	Text(°C)	Tint(°C)	$\theta_m(0)$	θ_0	Dif.temp. médias(°C)	τ (ZI)	τ (ZR)	τ (ZI)	τ (ZR)	$y_{ta0}(ZI)$	$y_{ta0}(ZR)$
20/10/2015	205	3,2	5,0	282	24,8	23,6	53,4	21,4	2,03	14,3	17,2	9,47	11,70	1,40	1,20
02/11/2015	170	2,7	1,4	145	14,2	22,9	65,4	23,7	2,66	8,71	8,97	8,15	8,18	1,92	1,81
13/11/2015	177	2,2	1,0	204	20,3	21,8	76,8	23,2	3,31	6,43	9,21	5,90	8,62	3,19	2,69
27/11/2015	175	2,5	1,1	196	15,5	15,6	83,8	18,3	1,44	6,74	7,89	6,02	7,17	3,84	3,61
27/11/2015	176	2,5	0,9	251	13,1	25,0	61,0	21,3	2,35	7,23	9,88	6,54	9,27	2,29	1,96
15/12/2015	172	2,5	4,4	138	18,5	17,4	70,3	18,9	2,14	7,78	9,35	6,76	8,45	2,66	2,44
15/12/2015	172	2,4	2,4	90	16,9	19,1	75,7	21,2	2,54	7,53	9,37	6,90	8,74	2,74	2,44
21/12/2015	170	3	2,6	75,9	11,1	19,8	45,9	17,4	2,35	8,62	10,30	7,09	8,69	1,50	1,25

Verificou-se não existir correlação entre a velocidade do ar que entra no compartimento e a velocidade do vento, mesmo quando apenas se consideraram os dias em que o vento incidiu perpendicularmente à fachada. Observando, por exemplo, o dia 20 de Outubro, para o ensaio de Δp moderado, em que a direção do vento é de 282° e a velocidade é de 5m/s, ou seja, direção quase perpendicular à fachada e velocidade do vento relativamente elevada, a velocidade de entrada de ar é de apenas 1,3m/s, valor relativamente baixo quando comparado com os restantes dias. Quando o diferencial de pressão aumenta, mantêm-se as mesmas conclusões, contudo, como seria expectável, o aumento do diferencial de pressão provocou o aumento da velocidade de entrada do ar.

Observando as matrizes de correlações entre as temperaturas exterior (Text) e interior (Tint) e os valores obtidos para os parâmetros das funções de aproximação, Tabelas 4.10 e 4.11, conclui-se que existe uma forte correlação entre a temperatura exterior e as constantes de tempo τ (ZI) e τ (ZR) da função de aproximação utilizada para a evolução temporal da temperatura média da zona de influência (ZI) e da zona de referência (ZR). Existe também uma correlação moderada a elevada com as constantes de tempo τ (ZI) e τ (ZR) da função de aproximação utilizada para a evolução temporal da taxa de arrefecimento

da zona de influência (ZI) e da zona de referência (ZR). Este resultado era previsível pois, teoricamente, o valor das constantes de tempo de ambas as funções de aproximação deveriam ser iguais e só não o são porque o modelo utilizado, baseado nas equações 4.3 a 4.8 é uma aproximação da realidade. A correlação com a temperatura exterior é óbvia pois quanto mais quente for o ar que está a entrar mais lentamente irá arrefecer a zona em estudo. A temperatura interior tem o mesmo tipo de correlação com as constantes de tempo anteriormente referidas pelas mesmas razões. Verifica-se também uma forte correlação com a temperatura final da cartolina (θ_0), como seria de esperar, pois a temperatura da zona em estudo tende para a temperatura ambiente. Para diferenciais de pressão elevados nota-se um acréscimo na correlação entre a temperatura interior e o valor inicial da taxa de arrefecimento (y_{ta0}). De realçar que esta correlação é negativa, ou seja quando a temperatura interior sobe o valor inicial da taxa de arrefecimento desce.

Tabela 4.10. Correlações entre as temperaturas exterior (Text) e interior (Tint) e os valores obtidos para os parâmetros das funções de aproximação para o ensaio RFcac para Δp moderado

		Text(°C)	Tint(°C)
Evol.Temp.média	$\theta_m(0)$	-0,312	-0,296
	θ_0	0,370	0,623
	Dif.temp. médias(°C)	-0,264	-0,109
	τ (ZI)	0,646	0,415
	τ (ZR)	0,609	0,409
Taxa de arrefecimento	τ (ZI)	0,532	0,501
	τ (ZR)	0,427	0,463
	y_{ta0} (ZI)	-0,395	-0,339
	y_{ta0} (ZR)	-0,377	-0,330

Tabela 4.11. Correlações entre as temperaturas exterior (Text) e interior (Tint) e os valores obtidos para os parâmetros das funções de aproximação para o ensaio RFcac para Δp elevado

		Text(°C)	Tint(°C)
Evol.Temp.média	$\theta_m(0)$	0,147	-0,519
	θ_0	0,334	0,666
	Dif.temp. médias(°C)	0,051	0,479
	τ (ZI)	0,568	0,393
	τ (ZR)	0,655	0,474
Taxa de arrefecimento	τ (ZI)	0,413	0,464
	τ (ZR)	0,618	0,631
	y_{ta0} (ZI)	0,006	-0,605
	y_{ta0} (ZR)	-0,015	-0,652

4.1.5. CANTO SUPERIOR DIREITO DA JANELA EM VISTA FRONTAL COM AQUECIMENTO DO PAINEL DE BAIXA CONDUTIBILIDADE TÉRMICA – CFcAC

Neste ensaio foram realizados os dois tipos de análise referidos no § 4.1.1., considerando apenas a zona de influência do ar proveniente do exterior, dado que todo o painel era por ele influenciado não sendo por isso possível definir uma zona de referência, Figura 4.23. Estes ensaios foram realizados apenas para um diferencial de pressão de 60/70Pa.

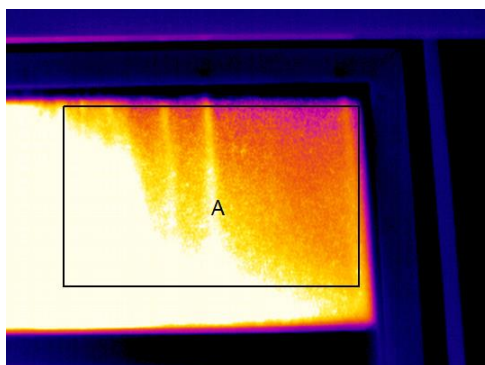


Figura 4.23. Zona selecionada para análise de resultados para os ensaios CFcAC

A Figura 4.24 mostra a sequência de termogramas captados no ensaio do dia 27 de Novembro_1, para o diferencial de 66 Pa. Verifica-se que há um aumento muito acentuado do tamanho da mancha fria, resultante da entrada de ar frio do exterior, e uma diminuição de temperatura superficial nessa zona, com o decorrer do tempo.

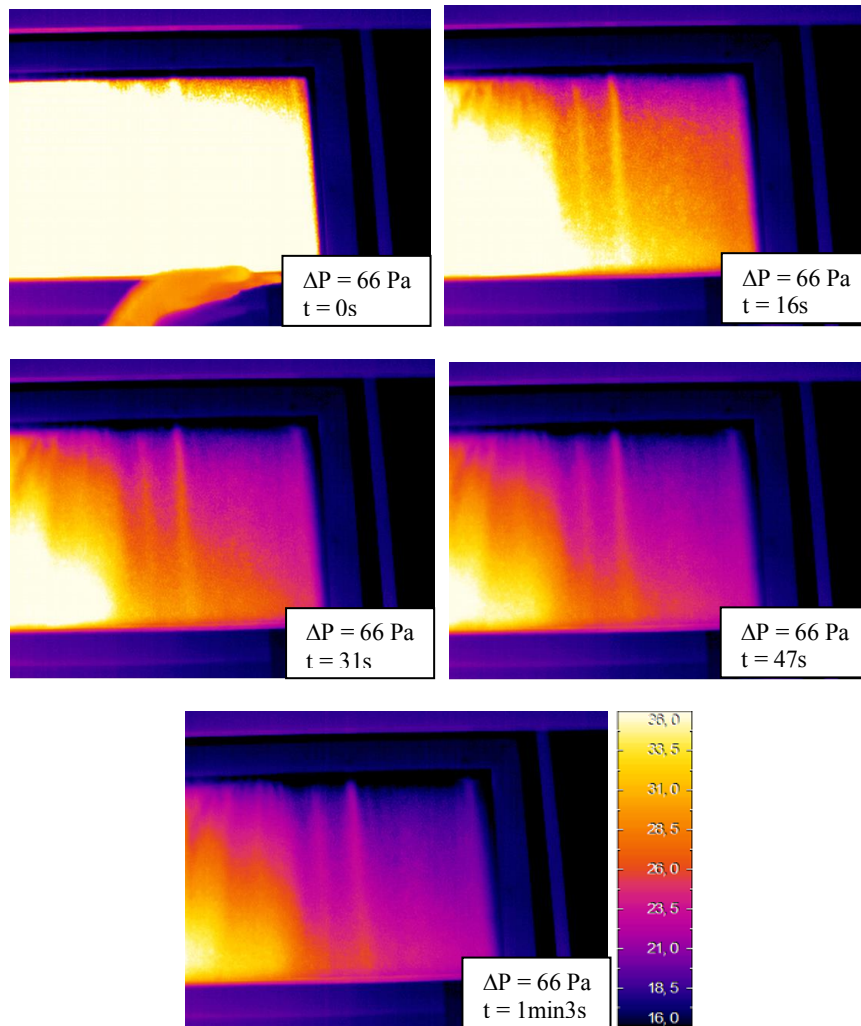
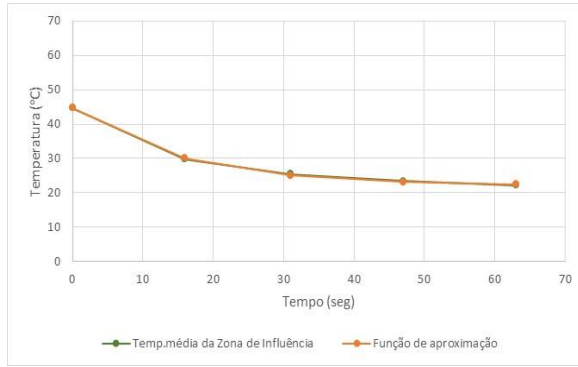
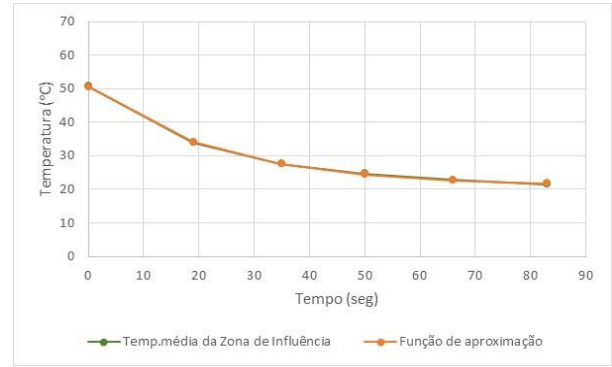


Figura 4.24. Sequência de imagens térmicas do ensaio CFcac no dia 27 de Novembro_1 (diferencial de pressão de 66Pa)

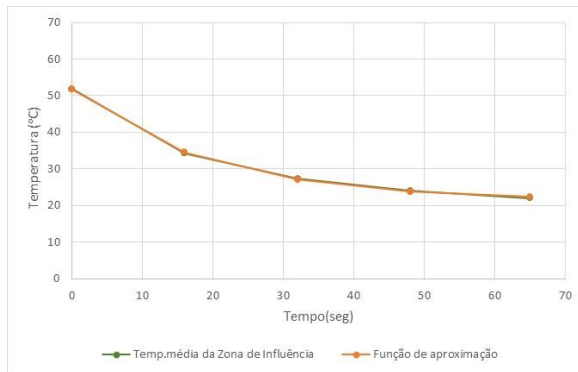
As Figura 4.25. e Figura 4.26 mostram a evolução da temperatura média e da taxa de arrefecimento para todos os dias de ensaio, respetivamente. Os resultados obtidos são muito semelhantes aos do ensaio RFcac, § 4.1.4, embora se constate que as taxas de arrefecimento nos momentos iniciais quando se usa o painel de baixa condutibilidade térmica (CFcac) são muito menores do que quando se usa a cartolina (RFcac), apesar de a entrada de ar no primeiro caso ser mais elevada. Este facto pode estar relacionado com a posição em que o ar incide na superfície (no ensaio RFcac o ar incide na perpendicular, enquanto que no ensaio CFcac o ar incide paralelamente). Pode também estar relacionado com propriedades térmicas do material usado para a visualização da entrada de ar com a termografia, que podem condicionar as trocas de calor que ocorrem na zona em estudo.



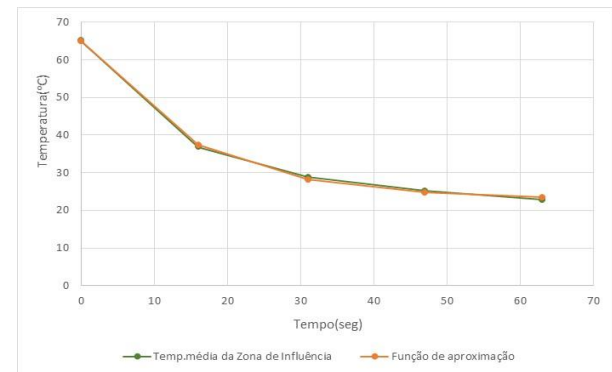
a)



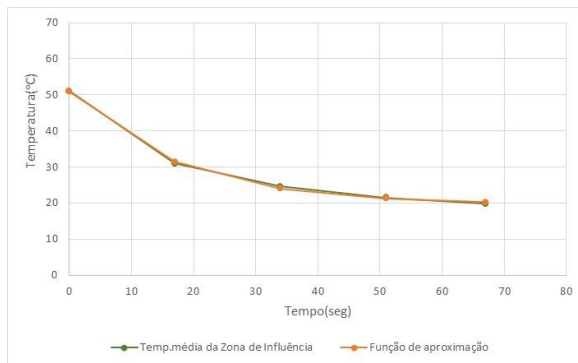
b)



c)

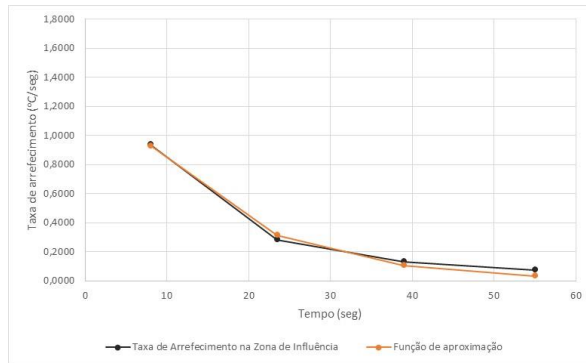


d)

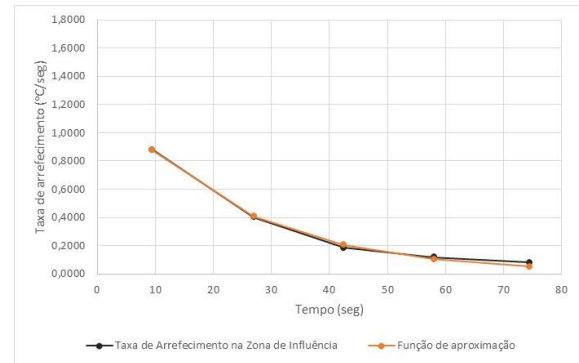


e)

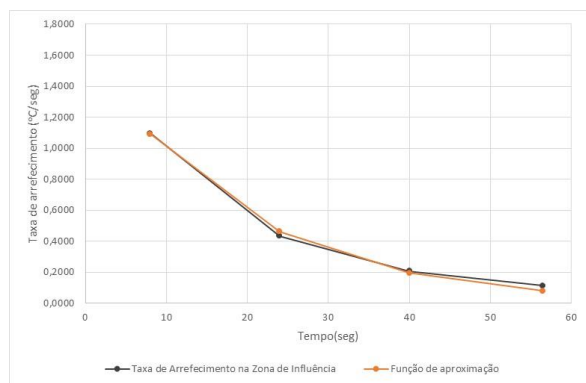
Figura 4.25. Evolução da temperatura média para o ensaio CFcac: a) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=66\text{Pa}$); b) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=71\text{Pa}$); c) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=62\text{Pa}$); c) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=63\text{Pa}$); e) 21 de Dezembro ($\Delta p=60\text{Pa}$)



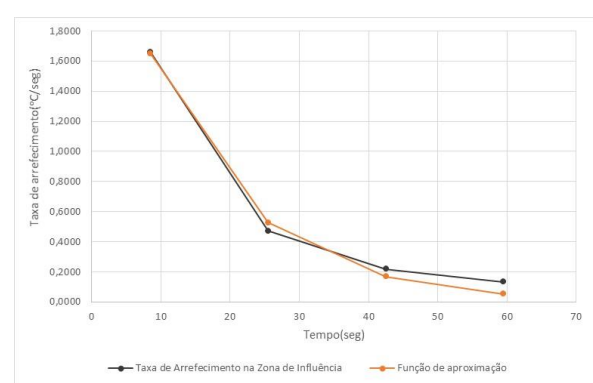
a)



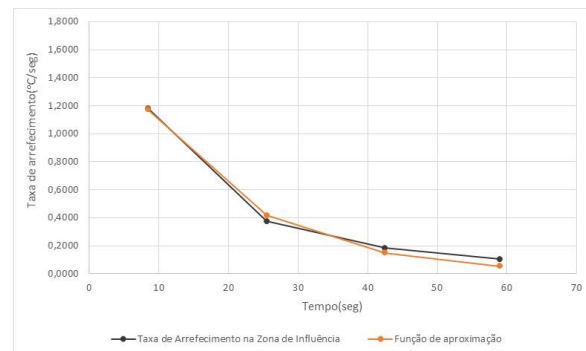
b)



c)



d)



e)

Figura 4.26. Evolução da taxa de arrefecimento para o ensaio CFcac: a) 27 de Novembro_1 ($\Delta p=66\text{Pa}$); b) 27 de Novembro_2 ($\Delta p=71\text{Pa}$); c) 15 de Dezembro_1 ($\Delta p=62\text{Pa}$); d) 15 de Dezembro_2 ($\Delta p=63\text{Pa}$); e) 21 de Dezembro ($\Delta p=60\text{Pa}$)

As funções de aproximação utilizadas tanto para a evolução da temperatura média como para a evolução da taxa de arrefecimento foram as mesmas funções utilizadas no caso do ensaio RFcac. A Tabela 4.12 mostra as condições climáticas no exterior, a temperatura interior e os parâmetros de ajuste das funções de aproximação. A Tabela 4.13 apresenta os valores das várias correlações testadas. Verifica-se que há uma correlação bastante boa entre temperatura final do painel (θ_0) e a temperatura exterior (T_{ext}), o que

pode ser explicado pelo facto do painel estar próximo da zona envidraçada e a entrada de ar pelas aberturas da caixa de estore ser muito acentuada.

Tabela 4.12. Condições climáticas exteriores e interiores e parâmetros de ajuste da função de aproximação da evolução da temperatura e da taxa de arrefecimento para o ensaio CFcac

Data	ΔP (Pa)	Vvento (m/s)	Dir. Vento (°)	Text(°C)	Tint(°C)	Evolução Temp. Média			Taxa de arrefecimento	
						$\theta_m(0)$	θ_0	τ (ZI)	τ (ZI)	$\gamma_{ta0}(ZI)$
27/11/2015	66	1,1	227	14,7	20,6	44,7	22,2	15,3	14,3	0,94
27/11/2015	71	0,9	251	13,1	20,0	50,7	21,5	23,4	22,8	0,88
15/12/2015	62	4,1	134	18,3	17,5	51,8	22,1	19,2	18,7	1,10
15/12/2015	63	2,4	96	17,1	19,9	65,1	22,9	15,0	14,9	1,66
21/12/2015	60	2,8	73	10,8	19,6	51,0	19,8	17,3	16,4	1,18

Tabela 4.13. Correlações entre as temperaturas exterior (Text) e interior (Tint) e os valores obtidos para os parâmetros das funções de aproximação para o ensaio CFcac

		Text(°C)	Tint(°C)
Evolução Temp. Média	$\theta_m(0)$	0,401	-0,090
	θ_0	0,846	-0,002
	τ (ZI)	-0,212	-0,242
Taxa de arrefecimento	τ (ZI)	-0,146	-0,269
	$\gamma_{ta0}(ZI)$	0,365	-0,040

4.1.6. JANELA EM VISTA LATERAL COM AQUECIMENTO DA CARTOLINA – JLCAC

Este tipo de ensaio só se realizou até ao dia 27 de Novembro, uma vez que era um ensaio muito sensível à posição da cartolina, o que originou grande variabilidade dos resultados, condicionando decisivamente a sua interpretação. A Figura 4.27 mostra os termogramas do ensaio realizado no dia 2 de Novembro.

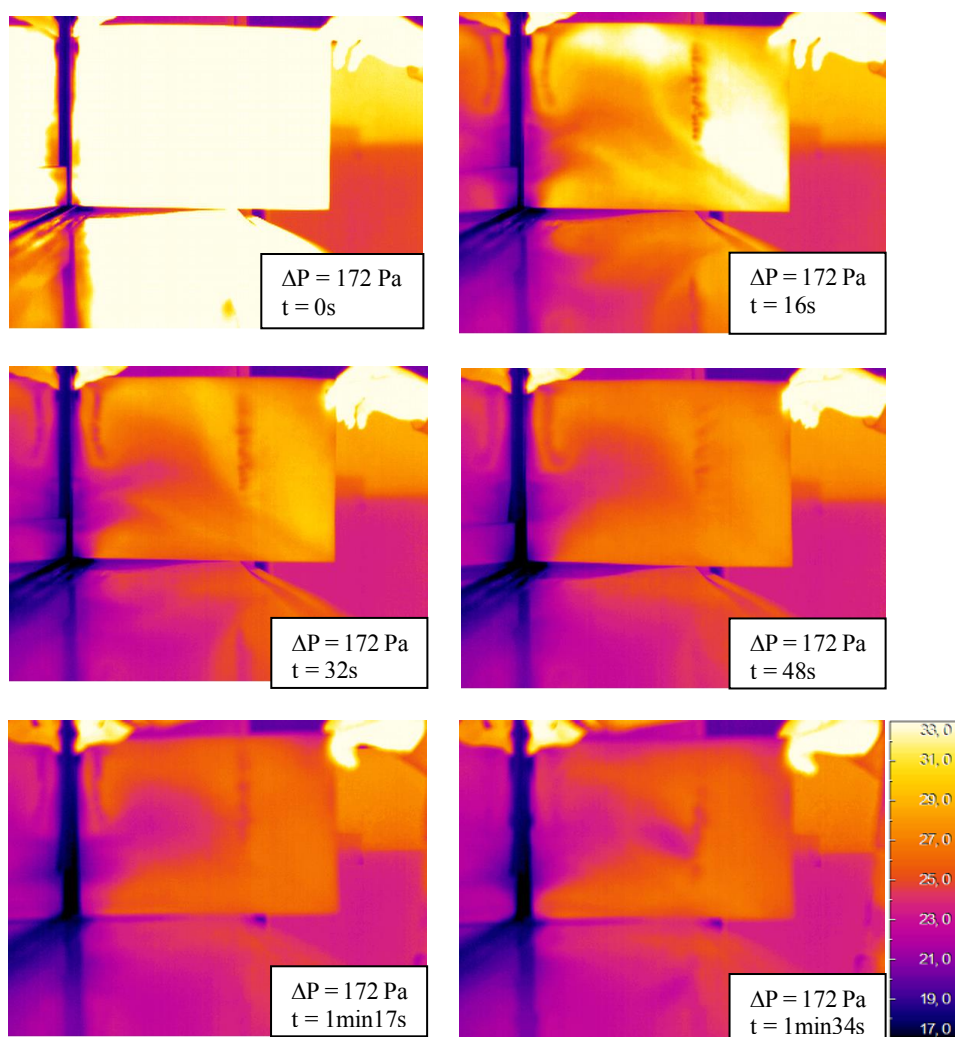


Figura 4.27. Sequência de imagens térmicas da JLCac no dia 2 de Novembro

4.2. ENSAIOS TERMOGRÁFICOS COM DESPRESSURIZAÇÃO - TERMOGRAFIA PASSIVA

4.2.1. METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Para os ensaios “Janela em vista frontal sem aquecimento da parede - JFsa” e “Canto superior direito da janela em vista frontal sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica - CFsa” a metodologia utilizada foi a seguinte:

- Definição, através do programa *InfReC Analyzer*, de três áreas retangulares com dimensões crescentes a partir da zona de entrada de ar, abrangendo diferentes zonas de influência da infiltração. As áreas selecionadas são as mesmas para todos os ensaios de modo a ser mais fácil a comparação dos diferentes resultados.
- Representação gráfica da variação da temperatura média superficial em cada uma das áreas de influência em função dos diferenciais de pressão, para todos os ensaios realizados.
- Os ensaios cuja diferença entre a temperatura interior e exterior foi, em valor absoluto, inferior a 5°C, foram eliminados da análise.

Para o ensaio “Roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica - RLsa” em vez de se utilizarem áreas retangulares, utilizaram-se três segmentos de reta na zona de influência da infiltração, com a mesma inclinação e tamanhos crescentes a partir da zona de entrada de ar.

4.2.2. JANELA EM VISTA FRONTAL SEM AQUECIMENTO DA PAREDE - JFSA

Nos termogramas dos ensaios JFsa, as áreas retangulares selecionadas para se proceder ao tratamento de dados foram as indicadas na Figura 4.28 (caixa A, caixa B e caixa C). Para cada uma dessas áreas foi calculada a temperatura média, máxima e mínima.

A Figura 4.29 mostra os termogramas efetuados no dia 27 de Novembro_2 para os vários diferenciais de pressão. Verifica-se que com o aumento de pressão há um aumento da zona mais fria junto ao canto inferior da janela, resultante da infiltração de ar.

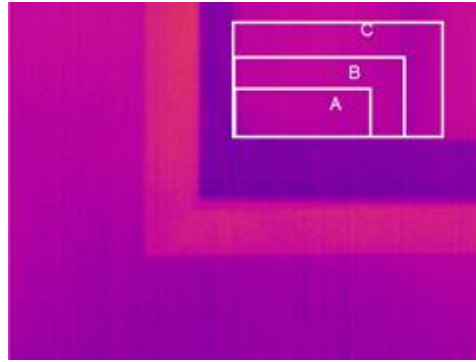


Figura 4.28. Áreas de influência definidas para o ensaio JFsa: Caixas A, B e C

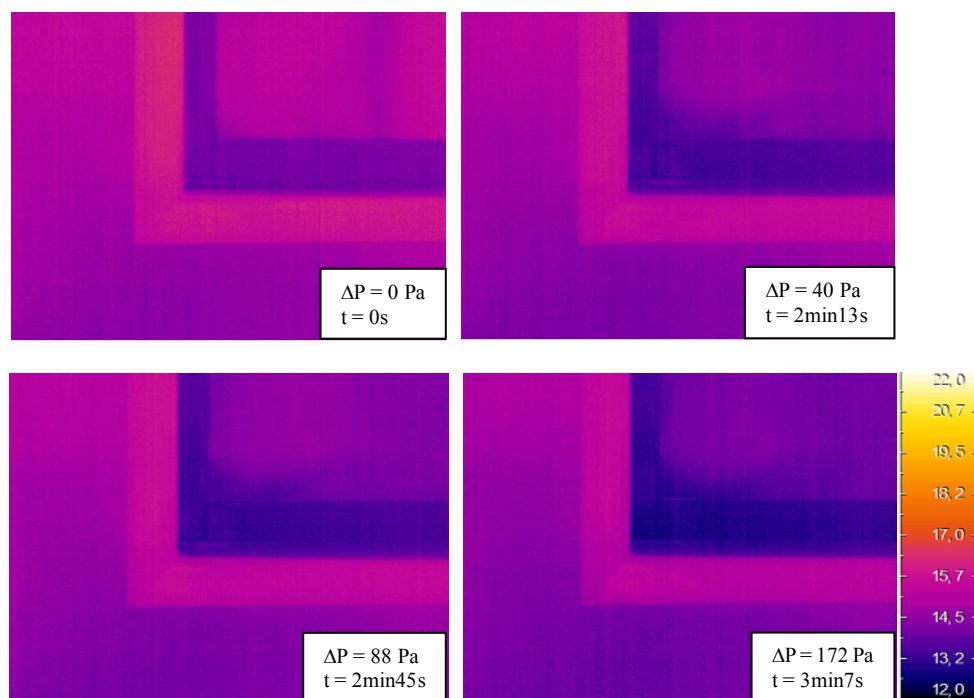


Figura 4.29. Sequência de imagens térmicas do ensaio JFsa no dia 27 de Novembro_2

As Tabelas 4.14 a 4.21 mostram, para cada ensaio, os valores da temperatura superficial máximos, mínimos e médios obtidos para cada zona de influência (caixas A, B e C) e para cada diferencial de pressão, bem como os valores medidos das temperaturas exterior e interior e da direção e velocidade do vento no momento da realização dos ensaios. Verifica-se que as temperaturas mínimas nas três zonas de influência são praticamente iguais, variando ligeiramente a temperatura máxima. Este facto deve-se ao tamanho das caixas ir aumentando (da Caixa A para a Caixa C), abrangendo zonas mais quentes da cartolina que se encontra colada na janela.

Tabela 4.14. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 20 de Outubro

	Tint=22,5 °C			Text=23,4 °C			Vvento= 3,1 m/s			Dir.vento= 97 °		
20 de Out	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd
0	19,96	18,95	19,44	19,96	18,95	19,47	20,04	18,95	19,48	20,04	18,95	19,48
32	19,70	18,42	18,99	19,94	18,42	19,20	20,01	18,42	19,33	20,01	18,42	19,33
75	20,19	19,11	19,63	20,32	19,11	19,73	20,41	19,11	19,81	20,41	19,11	19,81
172	19,84	18,94	19,40	20,02	18,94	19,48	20,05	18,94	19,52	20,05	18,94	19,52

Tabela 4.15. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 2 de Novembro

	Tint=20,4 °C			Text=14,6 °C			Vvento= 1,6 m/s			Dir.vento= 179,7 °		
2 de Nov	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd
0	14,02	12,28	13,24	14,37	12,17	13,38	14,42	12,17	13,49	14,42	12,17	13,49
34	15,32	13,77	14,77	15,76	13,77	14,90	15,76	13,72	14,99	15,76	13,72	14,99
82	16,09	14,53	15,38	16,31	14,52	15,50	16,31	14,44	15,57	16,31	14,44	15,57
180	16,33	14,84	15,65	16,59	14,84	15,79	16,59	14,82	15,84	16,59	14,82	15,84

Tabela 4.16. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 13 de Novembro

	Tint=19,6 °C			Text=20,7 °C			Vvento= 1,8 m/s			Dir.vento= 212,7 °		
13 de Nov	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd
0	18,12	16,82	17,48	18,38	16,82	17,64	18,63	16,82	17,77	18,63	16,82	17,77
29	18,05	16,93	17,44	18,38	16,93	17,63	18,50	16,93	17,78	18,50	16,93	17,78
67	17,96	16,80	17,40	18,23	16,80	17,58	18,61	16,80	17,72	18,61	16,80	17,72
175	17,81	16,84	17,33	18,20	16,84	17,49	18,27	16,84	17,61	18,27	16,84	17,61

Tabela 4.17. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 27 de Novembro_1

	Tint=15,6 °C			Text=16,6 °C			Vvento= 1,2 m/s			Dir.vento= 204,2 °		
27 de Nov	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd
0	13,61	12,25	12,91	13,85	12,25	13,03	13,95	12,25	13,12	13,95	12,25	13,12
28	14,60	13,30	13,96	14,84	13,30	14,08	15,05	13,30	14,19	15,05	13,30	14,19
70	14,73	13,70	14,16	14,86	13,70	14,26	15,06	13,70	14,36	15,06	13,70	14,36
175	14,54	13,72	14,15	14,90	13,72	14,24	15,05	13,72	14,34	15,05	13,72	14,34

Tabela 4.18. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 27 de Novembro_2

	Tint=14,9 °C			Text=13,4 °C			Vvento= 0,9 m/s			Dir.vento= 214,9 °		
27 de Nov	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd
0	15,47	14,02	15,05	15,66	14,02	15,10	15,68	14,02	15,10	15,68	14,02	15,10
40	14,76	13,18	14,05	15,09	13,18	14,29	15,12	13,18	14,37	15,12	13,18	14,37
88	14,60	13,14	13,91	14,92	13,14	14,14	14,92	13,14	14,24	14,92	13,14	14,24
172	14,40	12,81	13,59	14,61	12,81	13,82	14,61	12,81	13,92	14,61	12,81	13,92

Tabela 4.19. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 15 de Dezembro_1

	Tint=16,5 °C			Text=18,4 °C			Vvento= 3,7 m/s			Dir.vento= 137,3 °		
15 de Dez	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd
0	14,59	13,35	14,00	14,61	13,35	14,04	14,62	13,35	14,07	14,62	13,35	14,07
27	15,34	14,45	14,92	15,47	14,45	14,98	15,53	14,45	15,01	15,53	14,45	15,01
64	15,02	13,77	14,20	15,02	13,77	14,25	15,02	13,77	14,29	15,02	13,77	14,29
165	15,33	14,23	14,61	15,33	14,23	14,64	15,33	14,23	14,67	15,33	14,23	14,67

Tabela 4.20. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 15 de Dezembro_2

	Tint=18,3 °C			Text=17,0 °C			Vvento= 2,5 m/s			Dir.vento= 102,6 °		
15 de Dez	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd
0	15,40	14,57	14,99	15,48	14,57	15,02	15,48	14,55	15,02	15,48	14,55	15,02
40	15,57	14,61	15,05	15,57	14,61	15,06	15,57	14,61	15,08	15,57	14,61	15,08
88	15,63	14,79	15,16	15,63	14,79	15,19	15,63	14,76	15,20	15,63	14,76	15,20
174	15,42	14,43	14,89	15,42	14,43	14,93	15,42	14,43	14,94	15,42	14,43	14,94

Tabela 4.21. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio JFsa no dia 21 de Dezembro

	Tint=17,4 °C			Text= 10 °C			Vvento= 2,6 m/s			Dir.vento= 71,9 °		
21 de Dez	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd
0	12,86	10,69	12,07	12,95	10,69	12,11	13,04	10,69	12,14	13,04	10,69	12,14
30	13,11	11,33	12,33	13,14	11,33	12,48	13,22	11,33	12,57	13,22	11,33	12,57
64	12,99	11,53	12,29	13,14	11,53	12,47	13,33	11,53	12,59	13,33	11,53	12,59
173	11,28	9,85	10,56	11,42	9,85	10,74	11,56	9,85	10,86	11,56	9,85	10,86

Observando a Figura 4.30, é possível constatar que as temperaturas médias das três zonas de influência não variam muito entre elas. No entanto, na Caixa A, a diferença da temperatura final e inicial é mais acentuada, ou seja, denota-se mais a influência da entrada de ar, o que faz sentido porque a área em estudo é mais pequena. Também aqui se verifica que não é necessário um diferencial de pressão muito elevado para se tornar evidente o efeito da entrada de ar.

De modo a analisar com mais pormenor a evolução das temperaturas e a influência dos parâmetros climáticos nos resultados, sintetizaram-se os valores obtidos para a Caixa A na Tabela 4.22.

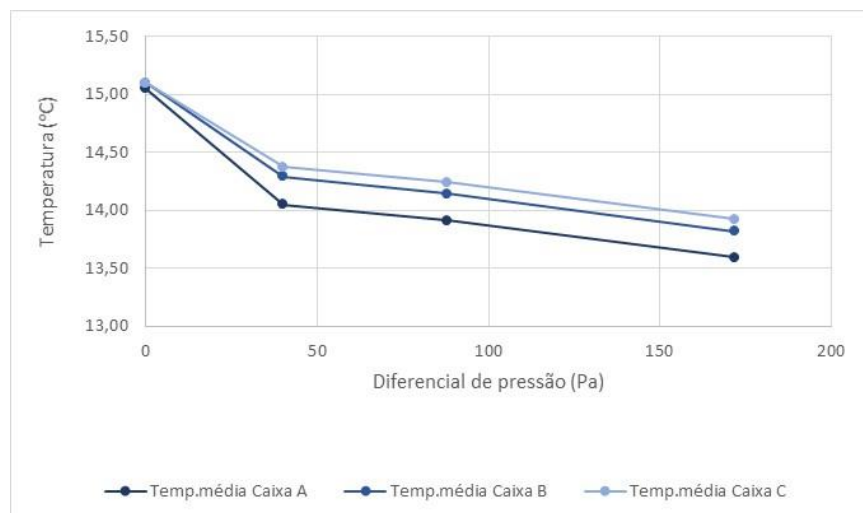
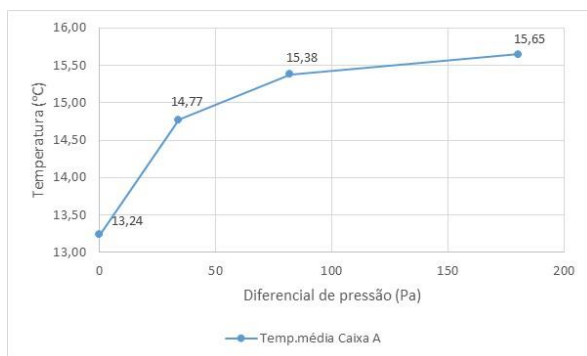


Figura 4.30. Evolução da temperatura média das três caixas – Ensaio JFsa no dia 27 de Novembro_2

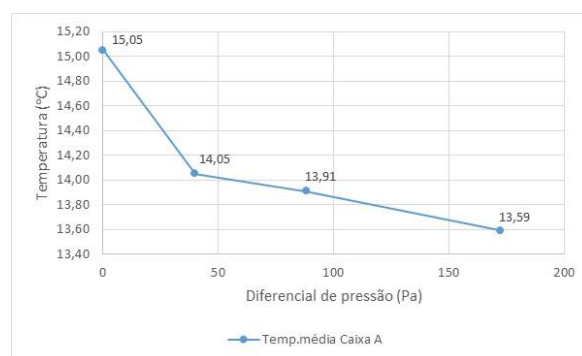
Tabela 4.22. Temperaturas e parâmetros climáticos para todos os dias de ensaio JFsa, considerando como área de influência a Caixa A

	Vvento (m/s)	3,1	1,6	1,8	1,2	0,9	3,7	2,5	2,6
	Dir.vento(°)	97	180	213	204	215	137	103	72
	Text (°C)	23,4	14,6	20,7	16,6	13,4	18,4	17	10
	Tint (°C)	22,5	20,4	19,6	15,6	19,4	16,5	18,3	17,4
	Δ T (°C)	0,9	5,8	1,1	1	6	1,9	1,3	7,4
Pressão (Pa)	Pres.média (Pa)	20/out	02/nov	13/nov	27/nov	27/nov	15/dez	15/dez	21/dez
ΔP=0	0	19,44	13,24	17,48	12,91	15,05	14,00	14,99	12,07
28<=ΔP<=40	32,5	18,99	14,77	17,44	13,96	14,05	14,92	15,05	12,33
64<=ΔP<=88	74,75	19,63	15,38	17,40	14,16	13,91	14,20	15,16	12,29
165<=ΔP<=180	173,25	19,40	15,65	17,33	14,15	13,59	14,61	14,89	10,56

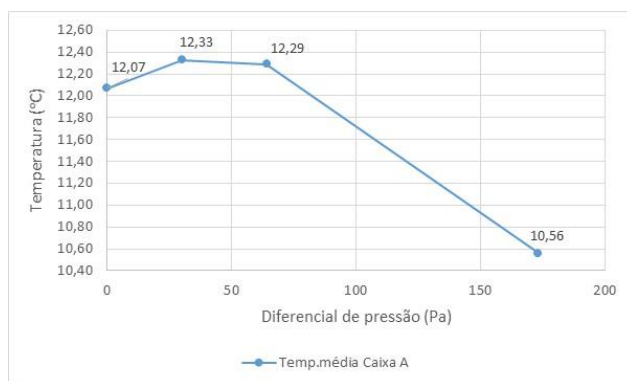
Os ensaios em que o diferencial de temperatura entre o interior e o exterior era menor que 5°C foram eliminados da análise, encontrando-se destacados a cor amarela na Tabela 4.22. Os gráficos da Figura 4.31 mostram a variação temperatura superficial média na Caixa A em função do diferencial de pressão para os dias 2 de Novembro, 27 de Novembro_2 e 21 de Dezembro.



a)



b)



c)

Figura 4.31. Evolução da temperatura média da Caixa A definida para o ensaio JFsa: a) 2 de Novembro; b) 27 de Novembro_2; c) 21 de Dezembro

Pode-se concluir que os dados referentes ao ensaio JFsa são inconclusivos pois os três ensaios apresentam evoluções distintas, sendo que o ensaio do dia 27 de Novembro_2 é o único que apresenta a evolução de temperatura esperada, ou seja, a temperatura média vai diminuindo com o aumento do diferencial de pressão. Nos outros ensaios a temperatura média sobe com o aumento do diferencial de pressão, o que provavelmente se explica pelo facto de este ter sido o primeiro ensaio de cada ciclo, num compartimento não habitado e, portanto, não aquecido. O aumento da temperatura ambiente pode refletir-se no aumento da temperatura superficial em estudo que se observa nos termogramas. Mais uma vez se verifica que a inexistência de um procedimento de ensaio rígido, que não condicionava uma temperatura interior para o início do ensaio, se refletiu nos resultados obtidos, principalmente porque as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior não eram muito significativas. No dia 21 de Dezembro, apesar de ter havido um ligeiro aumento da temperatura no início do ensaio, ocorreu um arrefecimento mais acentuado provavelmente devido ao facto de nesse dia a temperatura exterior ser mais baixa.

No intuito de se verificar a influência da temperatura interior nos resultados, foram analisados os dados de temperatura e humidade interior registados pelo *datalogger* para os dias de ensaio. Conclui-se que a temperatura no compartimento antes do início do ensaio era realmente muito inferior à que se verificou no seu decorrer, Figura 4.32.

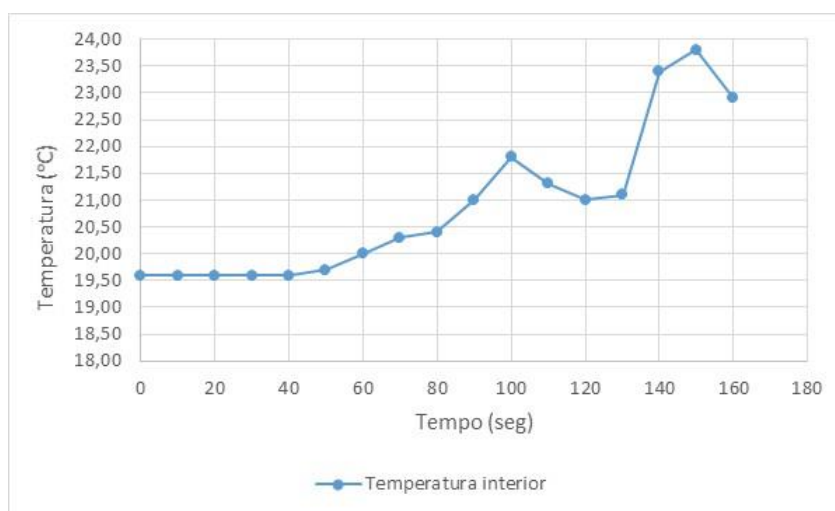


Figura 4.32. Evolução da temperatura interior com o início dos ensaios - 2 de Novembro

Por outro lado criou-se uma nova Caixa B e uma nova Caixa C, fora da zona de influência da entrada de ar (guarnição em madeira e parede, respetivamente). Analisando os resultados do ensaio do dia 2 de Novembro, observa-se que com o decorrer do tempo, a temperatura superficial nas caixas B e C vai aumentando, tal como acontece com a temperatura da caixa A, Figura 4.33, o que permite concluir que é a temperatura interior que está a condicionar os resultados e não a temperatura do ar proveniente do exterior.

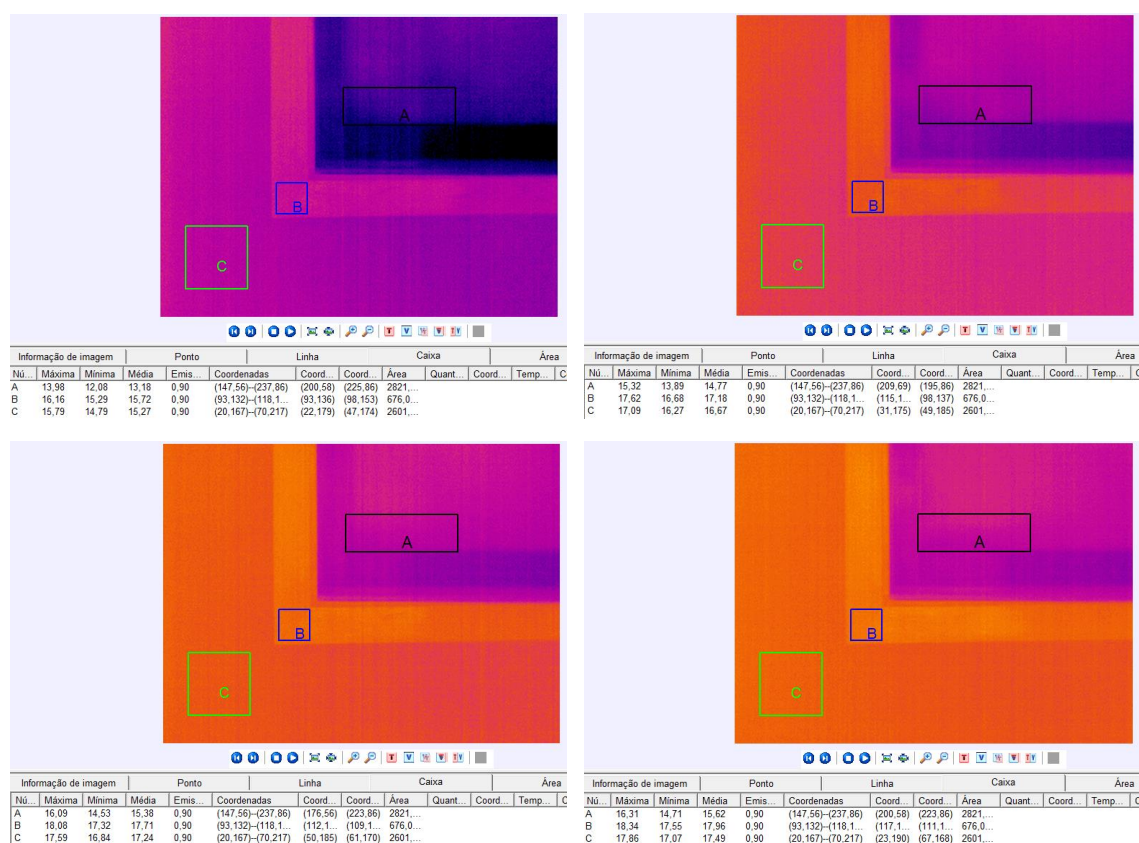


Figura 4.33. Evolução da temperatura superficial na Caixa A e nas novas caixas B e C (fora da área de influência da infiltração) no ensaio JFsa no dia 2 de Novembro

4.2.3. CANTO SUPERIOR DIREITO DA JANELA EM VISTA FRONTAL SEM AQUECIMENTO DO PAINEL DE BAIXA CONDUTIBILIDADE TÉRMICA - CFsa

Nos termogramas dos ensaios CFsa, as áreas retangulares selecionadas para se proceder ao tratamento de dados foram as indicadas na Figura 4.34 (Caixa A, B e C). Para cada uma dessas áreas foi calculada a temperatura máxima, mínima e média para cada diferencial de pressão. A Figura 4.35 mostra os termogramas efetuados no dia 21 de Dezembro para os vários diferenciais de pressão. Verifica-se com o aumento de pressão há um aumento da zona mais fria junto ao canto superior da janela, resultante da infiltração de ar.

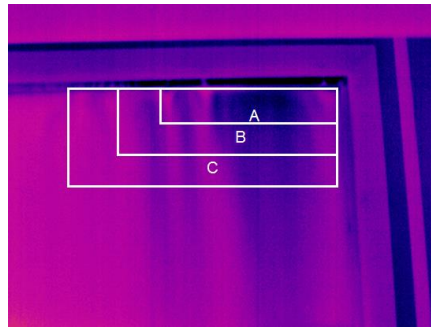


Figura 4.34. Áreas de influência definidas para o ensaio CFsa: Caixas A, B e C

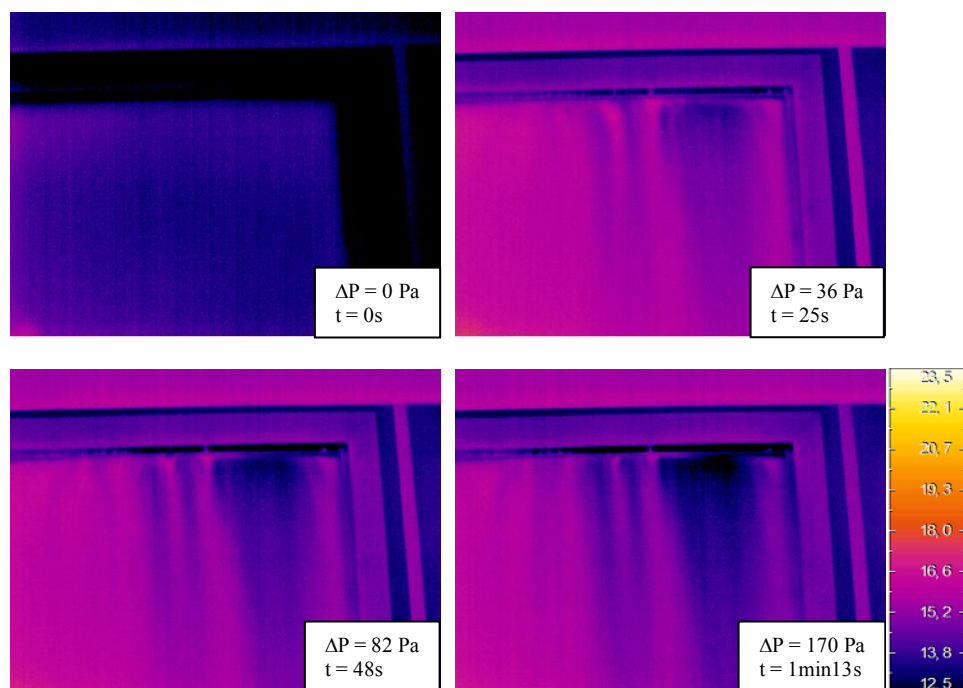


Figura 4.35. Sequência de imagens térmicas do ensaio CFsa no dia 21 de Dezembro

As Tabelas 4.23 a 4.25 mostram, para cada ensaio, os valores da temperatura superficial máximos, mínimos e médios obtidos para cada zona de influência (Caixas A, B e C) e para cada diferencial de pressão, bem como os valores medidos das temperaturas exterior e interior e da direção e velocidade do vento no momento da realização dos ensaios. Verifica-se, tal como no ensaio anterior, que as temperaturas mínimas nas três caixas são praticamente iguais, variando ligeiramente a temperatura máxima. Este facto deve-se de novo ao tamanho das caixas ir aumentando (da Caixa A para a Caixa C), abrangendo zonas mais quentes do painel. Também se constata que as temperaturas médias das três caixas não variam muito entre elas. Assim sendo, pelas mesmas razões referidas no ensaio JFsa, foi seleccionada a Caixa A para analisar com mais pormenor a evolução das temperaturas superficiais e a influência dos parâmetros climáticos, Tabela 4.26.

Tabela 4.23. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio CFsa no dia 15 de Dezembro_1

	Tint=17,4°C			Text=18,3°C			Vvento= 4,1m/s			Dir.Vento = 134,4°		
15 de Dez	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd			
0	14,10	12,89	13,42	14,26	12,70	13,36	14,99	12,70	13,36			
38	16,08	14,94	15,48	16,14	14,94	15,48	16,55	14,94	15,52			
88	15,98	15,00	15,39	15,98	14,94	15,43	16,29	14,94	15,49			
175	15,52	14,63	15,04	15,58	14,63	15,07	15,71	14,63	15,11			

Tabela 4.24. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio CFsa no dia 15 de Dezembro_2

	Tint=19,1 °C			Text=16,9 °C			Vvento= 2,4 m/s			Dir.Vento = 91,2°		
15 de Dez	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd			
0	17,61	16,76	17,12	17,68	16,74	17,11	17,68	16,71	17,10			
42	17,20	15,61	16,40	17,25	15,61	16,55	17,26	15,61	16,65			
90	17,13	15,40	16,21	17,28	15,40	16,46	17,39	15,40	16,63			
166	16,92	15,13	15,95	17,04	15,13	16,17	17,19	15,13	16,34			

Tabela 4.25. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio CFsa no dia 21 de Dezembro

	Tint= 19,6°C			Text= 10,5°C			Vvento= 2,5m/s			Dir.Vento = 71,3°		
21 de Dez	Caixa A			Caixa B			Caixa C					
ΔP	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd	Tmáx	Tmín	Tméd			
0	14,22	10,69	13,41	14,22	10,69	13,54	14,62	10,69	13,57			
36	16,42	13,39	14,75	16,50	13,39	14,99	16,50	13,39	15,21			
82	16,27	12,72	14,14	16,27	12,72	14,45	16,27	12,72	14,75			
170	15,61	12,16	13,69	15,70	12,16	14,01	15,94	12,16	14,34			

Tabela 4.26. Temperaturas e parâmetros climáticos para todos os dias de ensaio CFsa, considerando como área de influência a Caixa A

Vento (m/s)		4,1	2,4	2,5
Dir.Vento(°)		134,4	91,2	71,3
Text (°C)		18,3	16,9	10,5
Tint (°C)		17,4	19,1	19,6
ΔT (°C)		0,9	2,2	9,1
Pressão (Pa)	Pres.média (Pa)	15/dez	15/dez	21/dez
$\Delta P=0$	0,0	13,42	17,12	13,41
$36 \leq \Delta P \leq 42$	38,7	15,48	16,40	14,75
$82 \leq \Delta P \leq 90$	86,7	15,39	16,21	14,14
$166 \leq \Delta P \leq 175$	170,3	15,04	15,95	13,69

Os ensaios realizados em que o diferencial de temperatura entre o interior e o exterior era menor que 5°C foram eliminados da análise, encontrando-se a cor amarela na Tabela 4.26. O gráfico da Figura 4.36 mostra a evolução da temperatura superficial média na Caixa A em função do diferencial de pressão para o único dia analisado, o dia 21 de Dezembro. Pela observação do gráfico e dos termogramas da

Figura 4.35 verifica-se que houve um aumento inesperado da temperatura no início do ensaio. Colocando uma nova caixa A na zona da guarnição em madeira, ou seja, fora da zona do painel em análise, Figura 4.37, observa-se um aquecimento inicial entre os dois primeiros termogramas de 2,29 °C, em 25 segundos, e estabilizando de seguida. Tal como no ensaio anterior a temperatura interior no início do ensaio condicionou os resultados.

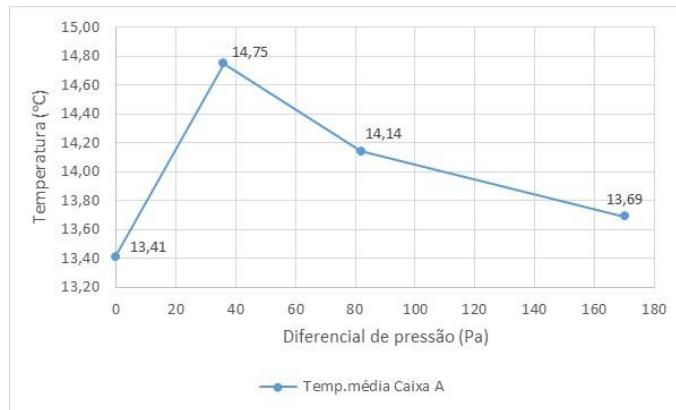


Figura 4.36. Evolução da temperatura média da Caixa A definida para o ensaio CFsa no dia 21 de Dezembro

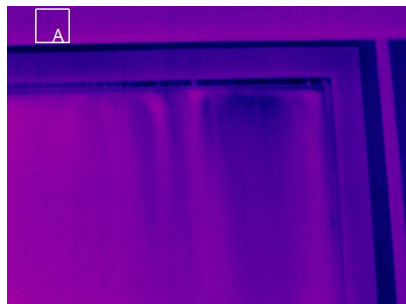


Figura 4.37. Posição da nova Caixa A (fora a área de influência da infiltração) para o ensaio CFsa

4.2.4. ROLDANA INFERIOR DA FITA DE ESTORE EM VISTA LATERAL SEM AQUECIMENTO DO PAINEL DE BAIXA CONDUTIBILIDADE TÉRMICA - RLsa

Para o tratamento das imagens térmicas no ensaio RLsa criaram-se três linhas (Linha A, B e C), Figura 4.38, e calculou-se a temperatura média em cada uma para cada diferencial de pressão. A Figura 4.39 mostra os termogramas efetuados no dia 27 de Novembro_2 para os vários diferenciais de pressão.

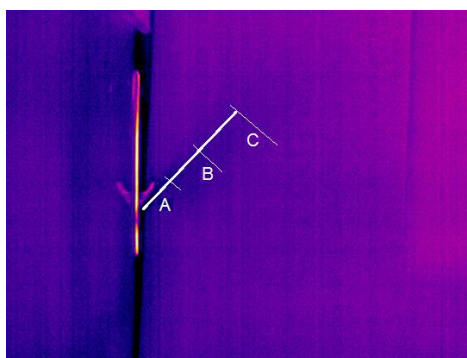


Figura 4.38. Linhas de influência definidas para o ensaio RLsa: Linhas A, B e C

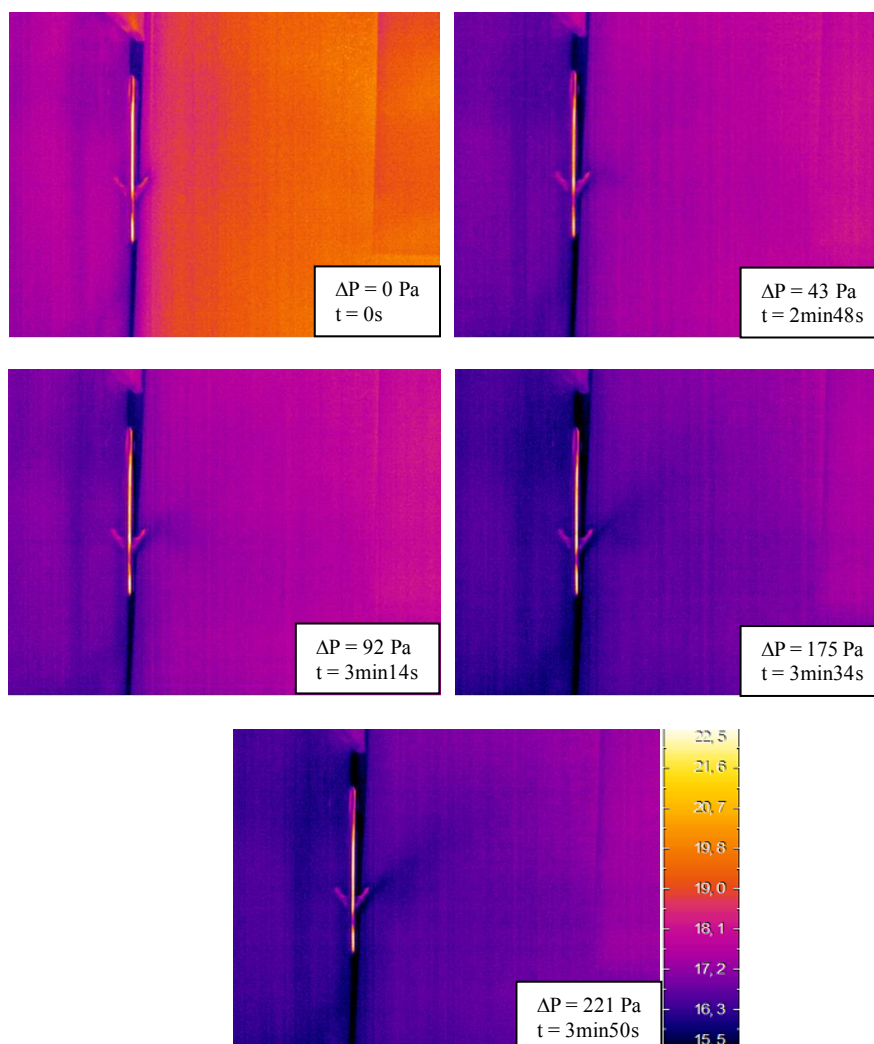


Figura 4.39. Sequência de imagens térmicas do ensaio RLsa no dia 27 de Novembro_2

As Tabelas 4.27 mostram, para cada ensaio, os valores médios da temperatura superficial para cada zona de influência (Linhas A, B e C) e para cada diferencial de pressão, bem como os valores medidos das temperaturas exterior e interior e da direção e velocidade do vento no momento da realização dos ensaios. Dado que a linha C apresenta maiores variações de temperaturas médias entre o diferencial de pressão inicial e final, foi efetuado um estudo mais detalhado apresentado na Tabela 4.28.

Tabela 4.27. Temperaturas superficiais e parâmetros climáticos obtidos no ensaio RLsa : a) 20 de Outubro; b) 2 de Novembro; c) 13 de Novembro; d) 27 de Novembro_1; e) 27 de Novembro_2; f) 15 de Dezembro_1; g) 15 de Dezembro_2; h) 21 de Dezembro

a)

Tint= 23,5°C Text=25,4 °C Vv= 2,3m/s Dir.V= 256°			
20 de Out	A	B	C
ΔP	Tméd	Tméd	Tméd
0	18,99	19,25	19,42
37	20,10	21,34	21,48
83	20,56	20,80	21,04
156	19,92	20,23	20,49
205	20,05	20,37	20,60

b)

Tint= 22,7°C Text=14,2 °C Vv= 1,3m/s Dir.V= 165°			
2 de Nov	A	B	C
ΔP	Tméd	Tméd	Tméd
0	20,06	20,16	20,22
40	20,30	20,39	20,45
87	19,95	20,04	20,12
164	20,14	20,23	20,30
210	19,85	19,84	19,89

c)

Tint= 22,5°C Text=20,3 °C Vv= 1,3m/s Dir.V=197°			
13 de Nov	A	B	C
ΔP	Tméd	Tméd	Tméd
0	17,77	18,19	18,50
40	18,31	18,60	18,88
90	18,37	18,57	18,76
175	18,12	18,30	18,46
220	18,31	18,46	18,61

d)

Tint= 21°C Text=17,2 °C Vv= 1,3m/s Dir.V= 267°			
27 de Nov	A	B	C
ΔP	Tméd	Tméd	Tméd
0	16,82	17,59	17,99
40	16,68	17,29	17,60
90	16,32	16,87	17,17
168	16,11	16,57	16,87
220	15,69	16,02	16,23

e)

Tint= 20,5°C Text=13 °C Vv= 0,9m/s Dir.V= 283°			
27 de Nov	A	B	C
ΔP	Tméd	Tméd	Tméd
0	17,76	18,27	18,44
43	16,91	17,14	17,23
92	16,73	16,98	17,13
175	16,16	16,32	16,45
221	16,11	16,23	16,33

f)

Tint= 17,5°C Text=18,3 °C Vv= 4m/s Dir= 136°			
15 de Dez	A	B	C
ΔP	Tméd	Tméd	Tméd
0	14,10	14,26	14,36
39	14,91	15,09	15,18
88	14,89	15,09	15,20
175	14,53	14,77	14,92
220	14,59	14,77	14,92

g)

Tint= 19,9°C Text=17,1 °C Vv= 2,4m/s Dir.V= 96°			
15 de Dez	A	B	C
ΔP	Tméd	Tméd	Tméd
0	16,75	17,05	17,20
43	16,91	17,20	17,33
92	16,52	16,78	16,92
171	16,12	16,36	16,52
219	16,03	16,29	16,45

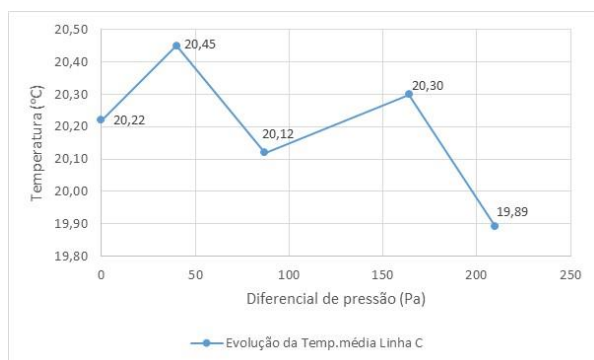
h)

Tint= 19,8°C Text=11,1 °C Vv= 2,6m/s Dir.V= 76°			
21 de Dez	A	B	C
ΔP	Tméd	Tméd	Tméd
0	13,93	14,06	14,63
41	14,53	14,66	15,30
90	13,89	14,00	14,77
172	13,59	13,76	14,38
221	13,46	13,69	13,90

Tabela 4.28. Temperaturas e parâmetros climáticos para todos os dias de ensaio RLsa, considerando como área de influência a Linha C

	Vvento (m/s)	2,3	1,3	1,3	1,3	0,9	4	2,4	2,6
	Dir.Vento (°)	256	165	197	267	283	136	96	76
	Text (°C)	25,4	14,2	20,3	17,2	13	18,3	17,1	11,1
	Tint (°C)	23,5	22,7	22,5	21	20,5	17,5	19,9	19,8
	ΔT (°C)	1,9	8,5	2,2	3,8	7,5	0,8	2,8	8,7
Pressão (Pa)	Pres.méd (Pa)	20/out	02/nov	13/nov	27/nov	27/nov	15/dez	15/dez	21/dez
ΔP=0	0	19,42	20,22	18,50	17,99	18,44	14,36	17,20	14,63
37<=ΔP<=43	40,375	21,48	20,45	18,88	17,60	17,23	15,18	17,33	15,30
83<=ΔP<=92	89	21,04	20,12	18,76	17,17	17,13	15,20	16,92	14,77
156<=ΔP<=175	169,5	20,49	20,30	18,46	16,87	16,45	14,92	16,52	14,38
205<=ΔP<=221	217	20,6	19,89	18,61	16,23	16,33	14,92	16,45	13,9

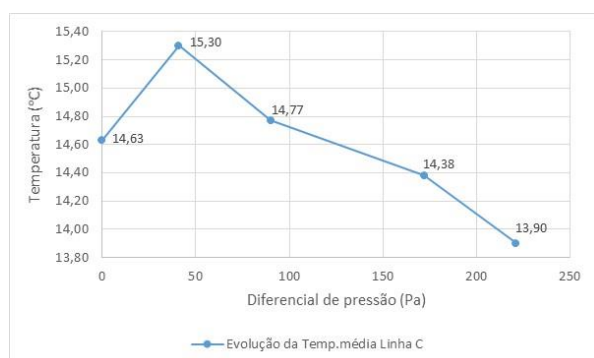
Os ensaios realizados em que o diferencial de temperatura entre o interior e o exterior era menor que 5°C foram eliminados da análise, encontrando-se a cor amarela na Tabela 4.28. De seguida encontram-se os gráficos de temperatura em função do diferencial de pressão para os respectivos dias de análise, nomeadamente o dia 2 de Novembro, 27 de Novembro_2 e 21 de Dezembro, Figura 4.40.



a)



b)



c)

Figura 4.40. Evolução da temperatura média da Caixa A definida para o ensaio RLsa nos dias: a) 2 de Novembro; b) 27 de Novembro_2; c) 21 de Dezembro

Pela observação dos gráficos e da sequência de termogramas também aqui é visível a influência da variação das condições ambientais muito provavelmente devido à presença de pessoas e realização intercalar de ensaios de termografia ativa, onde se utilizou os aquecedores de infravermelhos, e de termografia passiva. Por outro lado, a utilização na análise de linhas em vez de caixas torna os resultados muito mais sensíveis a diversos parâmetros, desde o tamanho da linha, a sua inclinação, entre outros. Como é evidente, uma linha, do tamanho das utilizadas nos ensaios, contém um número muito inferior de *pixels* do que uma caixa com dimensões da mesma ordem de grandeza. Assim, qualquer anomalia em alguns *pixels* é muito mais notada na linha do que na caixa.

4.2.5. JANELA EM VISTA LATERAL SEM AQUECIMENTO DA PAREDE/CAIXILHARIA - JLSA

Este ensaio só se realizou até ao dia 2 de Novembro sendo seguidamente abandonado pois a influência do ar frio proveniente do exterior na superfície em estudo não era detetada nos termogramas, tal como demonstra a sequência de termogramas captados no dia 2 de Novembro, Figura 4.41.

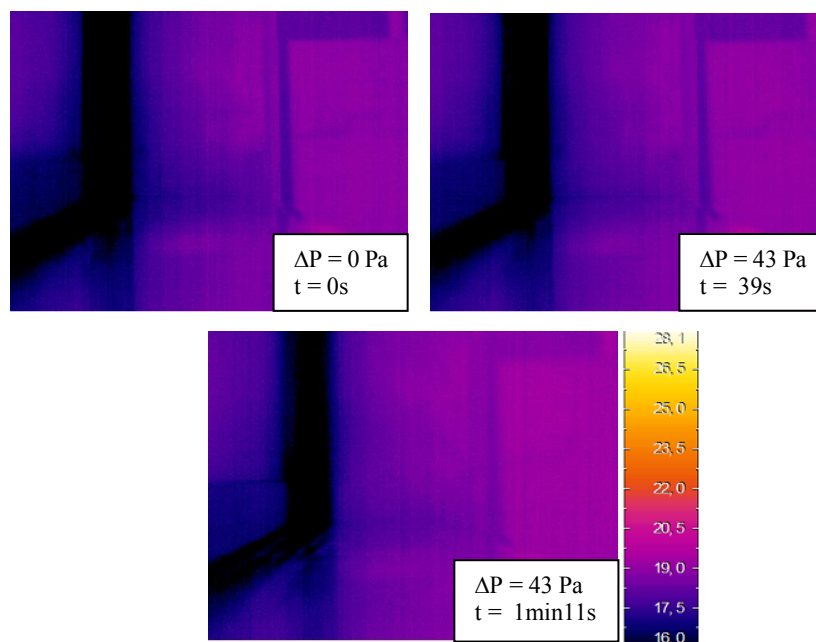


Figura 4.41. Sequência de imagens térmicas do ensaio JLSa no dia 2 de Novembro

4.2.6. ROLDANA INFERIOR DA FITA DE ESTORE EM VISTA FRONTAL SEM AQUECIMENTO DA CARTOLINA - RFSA

Também este ensaio só se realizou no início da campanha experimental, uma vez que, tal como ocorreu no ensaio anterior, JLsa, o arrefecimento não era perceptível, como se pode observar na sequência de termogramas captados no dia 13 de Novembro, Figura 4.42.

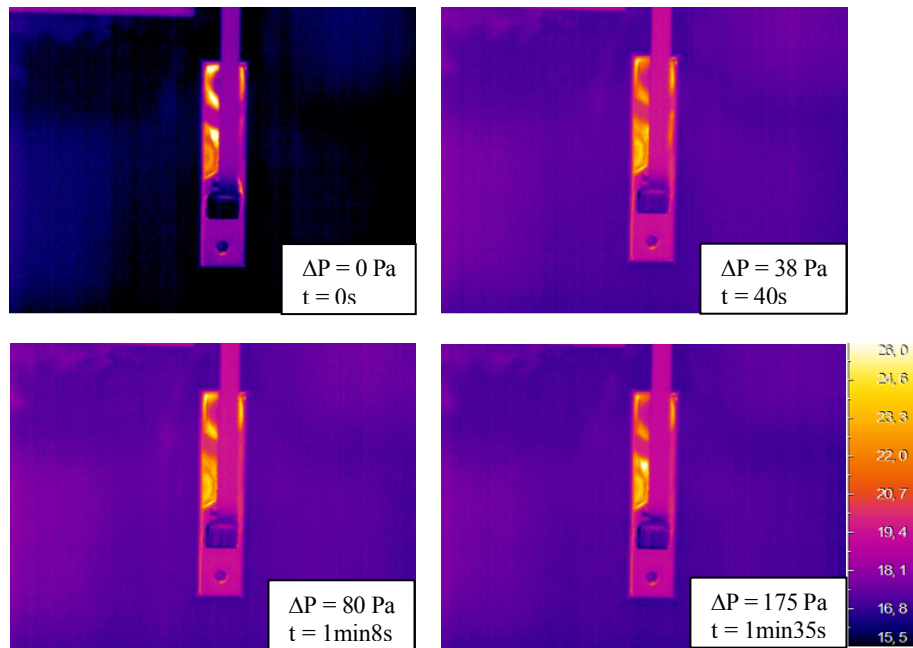


Figura 4.42. Sequência de imagens térmicas do ensaio RFsa no dia 13 de Novembro

4.3. ENSAIOS DE DESPRESSURIZAÇÃO

4.3.1. METODOLOGIA PARA O TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os ensaios de depressurização foram realizados para os casos de nada estar selado, de se selar apenas a roldana inferior, Figura 3.14.a), e, por último, de se selar apenas a caixilharia da janela, Figura 3.14.b).

A metodologia utilizada incluiu os seguintes passos:

- Construção de tabelas para cada ensaio realizado, onde se indicaram as condições ambientais e climáticas (temperatura interior (Tint), temperatura exterior (Text), velocidade do vento (Vvento) e direção do vento (Dir.Vento)) e outros parâmetros considerados relevantes como, por exemplo, o caudal de ar para um diferencial de pressão de 50 Pa (V_{50}) e a respetiva renovação de ar (n_{50}). Para estes parâmetros, indicou-se o valor obtido, o intervalo de confiança (com uma probabilidade de 95%) e a incerteza. Também se determinou o valor do coeficiente de fluxo de ar (C) e do expoente (n), e os respetivos intervalos de confiança.
- Com o objetivo de determinar a relação entre o caudal e a pressão induzida, para os três tipos de ensaio, calcularam-se os valores do caudal para os diferenciais de pressão de 10Pa (V_{10}), 20Pa (V_{20}), 30Pa (V_{30}), 40Pa (V_{40}) e 50Pa (V_{50}) a partir da equação proposta pelo programa *FanTestic*.
- Para se obter a relação final, incluindo todos os ensaios, determinou-se a média dos diferentes caudais para cada uma das pressões utilizadas.
- Por fim, estimou-se a curva de permeabilidade da roldana, através da subtração dos caudais obtidos pelas equações do ensaio de “nada selado” e do ensaio “selada a roldana”. Também se determinou a curva de permeabilidade da caixilharia através da subtração dos caudais obtidos pelas equações do ensaio de “nada selado” e do ensaio “selada a caixilharia”.

Os ensaios de depressurização foram realizados nos mesmos dias em que se fizeram os ensaios com a câmara termográfica. No Anexo IV podem ser consultadas as fichas individuais de cada ensaio com o respetivo gráfico de depressurização e tabela com o resumo dos resultados finais.

4.3.2. ENSAIOS DE DESPRESSURIZAÇÃO (NS, SR E SC)

As Tabelas 4.29 a 4.36 resumem os resultados obtidos nos ensaios de depressurização.

Tabela 4.29. Dados de 20 de Outubro

	20 de Outubro NS				20 de Outubro SC			
	Tint (°C)	Text (°C)	Vvento (m/s)	Dir.V (°)	Tint (°C)	Text (°C)	Vvento(m/s)	Dir.V (°)
	23,7	24,3	1,9	94,3	23,6	24,1	1,3	182,8
	Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza	
Fluxo de ar a 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	223,00	221,50	224,50	0,70%	130,71	124,20	137,60	5,10%
Modificação do ar a 50 Pa, n_{50} [/h]	8,04	7,23	8,85	10,00%	4,71	4,19	5,25	11,30%
Permeabilidade a 50 Pa, q_{50} [$m^3/h.m^2$]	27,65	24,88	30,43	10,00%	16,22	14,39	18,04	11,20%
Fuga específica a 50 Pa, w_{50} [$m^3/h.m^2$]	20,91	18,81	23,00	10,00%	12,26	10,88	13,64	11,20%
Coeficiente de fluxo de ar, C [$m^3/h.Pa^n$]	14,29	13,93	14,65		9,57	7,87	11,63	
Pendente, n	0,70	0,70	0,71		0,67	0,61	0,73	

Tabela 4.30. Dados de 2 de Novembro

	2 de Novembro_NS				2 de Novembro_SR				2 de Novembro_SC			
	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)
	22,6	14,2	1,5	163,8	22,3	14,1	2,2	143,5	22,1	14,2	1,9	154,2
	Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza	
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m ³ /h]	224,50	209,50	240,00	6,80%	195,86	165,60	231,60	16,80%	131,50	120,50	144,00	8,90%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [/h]	8,09	7,12	9,07	12,10%	7,06	5,68	8,45	19,60%	4,75	4,11	5,38	13,40%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m ³ /h.m ²]	27,84	24,48	31,21	12,10%	24,30	19,54	29,06	19,60%	16,33	14,14	18,52	13,40%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m ³ /h.m ²]	21,05	18,51	23,60	12,10%	18,37	14,78	21,97	19,60%	12,35	10,69	14,00	13,40%
Coefficiente de fluxo de ar, C [m ³ /h.Pa ⁿ]	12,47	9,44	16,47		4,98	2,60	9,52		4,51	3,18	6,39	
Pendente, n	0,74	0,66	0,82		0,94	0,74	1,13		0,86	0,76	0,97	

Tabela 4.31. Dados de 13 de Novembro

	13 de Novembro_NS				13 de Novembro_SR				13 de Novembro_SC			
	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)
	22,3	20,1	1,4	209,9	22,3	19,7	1,5	228	22,3	19,7	1,3	243,2
	Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza	
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m ³ /h]	211,94	210,10	213,80	0,90%	213,86	211,60	216,20	1,10%	110,00	101,10	119,00	8,30%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [/h]	7,64	6,88	8,41	10,00%	7,71	6,94	8,49	10,10%	3,96	3,45	4,48	13,00%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m ³ /h.m ²]	26,30	23,66	28,94	10,00%	26,40	23,75	29,06	10,10%	13,55	11,80	15,31	13,00%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m ³ /h.m ²]	19,88	17,89	21,88	10,00%	20,06	18,04	22,08	10,10%	10,30	8,96	11,64	13,00%
Coefficiente de fluxo de ar, C [m ³ /h.Pa ⁿ]	15,96	15,37	16,57		16,18	15,48	16,90		10,23	7,40	14,13	
Pendente, n	0,66	0,65	0,67		0,66	0,65	0,67		0,61	0,51	0,70	

Tabela 4.32. Dados de 27 de Novembro_1

	27 de Novembro_NS_1				27 de Novembro_SR_1				27 de Novembro_SC_1			
	Tint(°C)	Tex(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)
	20,3	14,1	0,8	208,1	19,8	13,9	0,9	211,3	19,6	13,6	0,9	240,9
	Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza	
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m ³ /h]	210,50	206,00	215,50	2,30%	208,66	204,10	213,40	2,20%	107,50	99,00	117,00	8,30%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [/h]	7,59	6,82	8,37	10,30%	7,53	6,75	8,30	10,20%	3,88	3,38	4,40	13,10%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m ³ /h.m ²]	26,12	23,44	28,80	10,30%	25,89	23,24	28,54	10,20%	13,37	11,61	15,12	13,10%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m ³ /h.m ²]	19,75	17,73	21,78	10,30%	19,57	17,57	21,58	10,20%	10,11	8,78	11,43	13,10%
Coefficiente de fluxo de ar, C [m ³ /h.Pa ⁿ]	15,10	13,75	16,59		16,02	14,56	17,63		12,84	9,14	18,04	
Pendente, n	0,67	0,65	0,70		0,66	0,63	0,69		0,54	0,44	0,65	

Tabela 4.33. Dados de 27 de Novembro_2

	27 de Novembro_NS_2				27 de Novembro_SR_2				27 de Novembro_SC_2			
	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)
	22,7	12,8	1,1	202,6	20,4	12,5	1,6	270,6	21,1	12,6	1,1	296,3
	Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza		Res.	Intervalo de confiança	Incerteza	
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m ³ /h]	215,50	212,00	219,10	1,60%	217,50	213,50	222,00	1,90%	113,00	108,50	117,50	4,00%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [/h]	7,77	6,99	8,56	10,10%	7,85	7,05	8,65	10,20%	4,07	3,63	4,51	10,80%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m ³ /h.m ²]	26,74	24,04	29,45	10,10%	27,00	24,25	29,75	10,20%	14,00	12,49	15,51	10,80%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m ³ /h.m ²]	20,22	18,17	22,27	10,10%	20,41	18,33	22,49	10,20%	10,59	9,45	11,73	10,80%
Coefficiente de fluxo de ar, C [m ³ /h.Pa ⁿ]	17,02	15,93	18,17		15,98	14,78	17,29		9,82	8,39	11,50	
Pendente, n	0,65	0,63	0,67		0,67	0,64	0,69		0,62	0,58	0,67	

Tabela 4.34. Dados de 15 de Dezembro_1

	15 de Dezembro_NS_1				15 de Dezembro_SR_1				15 de Dezembro_SC_1			
	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)
	18,1	18,4	4,2	145,6	18	18,5	3,3	139,4	18,1	18,4	3,9	129,8
	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m³/h]	189,00	157,50	226,50	18,40%	194,50	147,00	275,50	28,30%	109,50	98,45	122,00	10,80%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [/h]	6,81	5,39	8,24	20,90%	7,02	4,91	9,13	30,00%	3,96	3,38	4,54	14,70%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m³/h.m²]	23,43	18,53	28,33	20,90%	24,15	16,90	31,41	30,00%	13,61	11,61	15,62	14,70%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m³/h.m²]	17,71	14,01	21,42	20,90%	18,26	12,78	23,75	30,00%	10,29	8,77	11,81	14,70%
Coefficiente de fluxo de ar, C [m³/h.Pa ⁿ]	5,53	3,20	9,53		27,98	14,31	54,68		11,77	8,20	16,89	
Pendente, n	0,90	0,73	1,08		0,50	0,28	0,71		0,57	0,46	0,69	

Tabela 4.35. Dados de 15 de Dezembro_2

	15 de Dezembro_NS_2				15 de Dezembro_SR_2				15 de Dezembro_SC_2			
	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)
	18,1	17	2,3	131,5	17,7	17,6	3,1	130,3	17,4	18	3,4	137,6
	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m³/h]	207,50	165,50	260,50	22,80%	245,00	162,50	370,50	42,50%	139,50	96,20	202,00	38,00%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [/h]	7,49	5,62	9,36	24,90%	8,84	4,99	12,70	43,60%	5,03	3,06	7,01	39,30%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m³/h.m²]	25,72	19,34	32,18	24,90%	30,43	17,15	43,70	43,60%	17,30	10,51	24,10	39,30%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m³/h.m²]	19,48	14,63	24,33	24,90%	23,01	12,97	33,04	43,60%	13,08	7,94	24,10	39,30%
Coefficiente de fluxo de ar, C [m³/h.Pa ⁿ]	19,89	11,01	35,92		6,44	2,25	18,45		3,10	0,90	10,73	
Pendente, n	0,60	0,41	0,79		0,93	0,59	1,27		0,97	0,59	1,36	

Tabela 4.36. Dados de 21 de Dezembro

	21 de Dezembro_NS				21 de Dezembro_SR				21 de Dezembro_SC			
	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)	Tint(°C)	Text(°C)	Vvento(m/s)	Dir.V(°)
	21,6	12	2,2	74	21,3	12,6	2,4	71,3	21,1	13,2	2,2	76,7
	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza	Res.	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m³/h]	194,50	177,50	212,50	8,90%	178,00	152,50	207,50	15,50%	84,25	52,45	135,00	49,10%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [/h]	7,01	6,07	7,95	13,40%	6,41	5,23	7,60	18,40%	3,04	1,52	4,56	50,10%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m³/h.m²]	24,11	20,87	27,34	13,40%	22,07	18,00	26,14	18,40%	10,45	5,21	15,69	50,10%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m³/h.m²]	18,23	15,78	20,67	13,40%	16,69	13,61	19,76	18,40%	7,90	3,94	11,87	50,10%
Coefficiente de fluxo de ar, C [m³/h.Pa ⁿ]	8,12	6,04	10,92		19,97	11,98	33,30		15,15	3,04	75,58	
Pendente, n	0,81	0,71	0,90		0,56	0,40	0,72		0,44	-0,06	0,93	

Para facilitar a interpretação dos resultados, foram criadas tabelas, para cada tipo de ensaio, com os seguintes parâmetros: caudal de ar a 50 Pa (V_{50}) e a sua incerteza ($Inc.V_{50}$), renovação de ar a 50 Pa (n_{50}) e sua incerteza ($Inc.n_{50}$), coeficientes C e n, velocidade do vento (Vvento), diferencial de temperatura e as suas variações (ΔT), Tabelas 4.37, 4.38 e 4.39. Note-se que os ensaios que foram realizados em condições onde a velocidade do vento (Vvento) era igual ou superior a 2 m/s, encontram-se destacados a cor amarela. O ensaio de dia 2 de Novembro para o caso de selada a caixilharia, apesar de a velocidade do vento não atingir os 2m/s, também foi eliminado uma vez que os valores dos parâmetros eram completamente discrepantes com os restantes ensaios. Assim, estes ensaios não foram incluídos na análise dos resultados, apresentados na Tabela 4.40, que inclui a média e o desvio padrão dos parâmetros V_{50} e n_{50} para os três tipos de ensaio.

Tabela 4.37. Dados relativos ao ensaio de nada selado (NS)

NS	V ₅₀	Inc.V ₅₀	n ₅₀	Inc.n ₅₀	C	n	Vvento	ΔT
20/out	223,0	0,70%	8,04	10%	14,29	0,702	1,9	0,6
02/nov	224,5	6,80%	8,09	12%	12,47	0,739	1,5	8,4
13/nov	211,9	0,90%	7,643	10%	15,96	0,661	1,4	2,2
27/nov	210,5	2,30%	7,59	10%	15,10	0,674	0,8	6,2
27/nov	215,5	1,60%	7,77	10,10%	17,02	0,649	1,1	9,9
15/dez	189,0	18,40%	6,81	20,9	5,53	0,903	4,2	0,3
15/dez	207,5	22,80%	7,49	24,9	18,89	0,600	2,3	1,1
21/dez	194,5	8,90%	7,01	13,4	8,13	0,812	2,2	9,6

Tabela 4.38. Dados relativos ao ensaio de selada a roldana (SR)

SR	V ₅₀	Inc.V ₅₀	n ₅₀	Inc.n ₅₀	C	n	Vvento	ΔT
20/out								
02/nov	195,9	16,80%	7,06	19,60%	4,98	0,939	2,2	8,2
13/nov	213,86	1,10%	7,71	10,10%	16,18	0,66	1,5	2,6
27/nov	208,7	2,20%	7,525	10,20%	16,02	0,656	0,9	5,9
27/nov	217,5	1,90%	7,85	10,20%	15,98	0,67	1,6	7,9
15/dez	194,5	28,30%	7,02	30,00%	27,98	0,496	3,3	0,5
15/dez	245	42,50%	8,84	43,60%	6,44	0,93	3,1	0,1
21/dez	178	15,50%	6,41	18,40%	19,97	0,56	2,4	8,7

Tabela 4.39. Dados relativos ao ensaio de selada a caixilharia (SC)

SC	V ₅₀	Inc.V ₅₀	n ₅₀	Inc.n ₅₀	C	n	Vvento	ΔT
20/out	130,7	5,10%	4,71	11,30%	9,565	0,668	1,3	0,5
02/nov	131,5	8,90%	4,75	13,40%	4,51	0,862	1,9	7,9
13/nov	110	8,30%	3,96	13,00%	10,227	0,607	1,3	2,6
27/nov	107,5	8,50%	3,88	13,10%	12,84	0,544	0,9	6
27/nov	113	4,00%	4,07	10,80%	9,823	0,624	1,1	8,5
15/dez	109,5	10,80%	3,96	14,70%	11,77	0,574	3,4	0,3
15/dez	139,5	38,00%	5,03	39,30%	3,1	0,973	3,4	0,6
21/dez	84,3	49,10%	3,04	50,10%	15,15	0,439	2,2	7,8

Tabela 4.40. Média e desvio padrão do V₅₀ e do n₅₀ para os três ensaios

	Nada selado (NS)		Selada a Roldana(SR)		Selada a Caixilharia	
	V ₅₀ [m ³ /h]	n ₅₀ [/h]	V ₅₀ [m ³ /h]	n ₅₀ [/h]	V ₅₀ [m ³ /h]	n ₅₀ [/h]
Média	217,09	7,83	213,35	7,70	115,30	4,16
Desvio Padrão	5,70	0,20	3,61	0,13	9,10	0,33

Constata-se que a média do parâmetro V_{50} para o caso de nada selado e de selada a roldana é um valor muito semelhante, o que seria de esperar pois o orifício da roldana tinha uma dimensão pequena e portanto o caudal de ar que entrava não era muito significativo. Ao selar a caixilharia, o caudal de ar que entra no compartimento passa praticamente para metade.

Foi testada a correlação entre os resultados do ensaio (V_{50} , Inc. V_{50} , n_{50} , Inc. n_{50} , C e n) e os parâmetros ambientais e climáticos (velocidade do vento, V_{vento} , e diferença entre a temperatura exterior e a interior, ΔT). Esta análise foi realizada separadamente para cada tipo de ensaio, Tabela 4.41.

Tabela 4.41. Matrizes de Correlação

NS	V_{vento}	ΔT	SR	V_{vento}	ΔT	SC	V_{vento}	ΔT
V_{50}	0,767	-0,021	V_{50}	0,95774	0,2797	V_{50}	0,592957	-0,647
Inc. V_{50}	-0,022	0,564	Inc. V_{50}	-0,6116	0,7962	Inc. V_{50}	-0,24165	-0,2
n_{50}	0,770	-0,025	n_{50}	0,95191	0,2985	n_{50}	0,584695	-0,646
Inc. n_{50}	0,100	0,477	Inc. n_{50}	0,87375	-0,645	Inc. n_{50}	-0,25222	-0,178
C	-0,448	0,071	C	0,19967	-0,981	C	-0,84486	0,3177
n	0,522	-0,024	n	0,80584	0,5855	n	0,814668	-0,491

Analisando os resultados da Tabela 4.41, pode-se concluir que, como seria expectável, existe uma correlação entre a velocidade do vento e os parâmetros V_{50} , n_{50} e n, que, sendo positiva, indica que quando a velocidade do vento foi mais elevada, o valor do caudal de ar a entrar no compartimento também aumentou. Em relação aos restantes parâmetros não se observaram correlações significativas. As Tabelas 4.42, 4.43 e 4.44 mostram os resultados obtidos em cada ensaio para o caudal correspondente a cada diferencial de pressão (V_{10} , V_{20} , V_{30} , V_{40} , V_{50}), juntamente com os coeficientes C e n.

Tabela 4.42. Dados para determinação das curvas de permeabilidade (NS)

NS	V_{10}	V_{20}	V_{30}	V_{40}	V_{50}	C	n
20/out	71,95	117,05	155,59	190,40	222,69	14,29	0,702
02/nov	68,37	114,11	153,98	190,45	224,60	12,47	0,739
13/nov	73,07	115,54	151,06	182,69	211,73	15,95	0,661
27/nov	71,28	113,73	149,47	181,45	210,90	15,10	0,674
27/nov	75,85	118,94	154,74	186,51	215,57	17,02	0,649
15/dez	44,19	82,63	119,17	154,52	189,02	5,53	0,903
15/dez	79,18	120,02	153,08	181,92	207,98	19,89	0,600
21/dez	52,73	92,58	128,68	162,54	194,83	8,13	0,812
Média	72,11	115,87	152,97	186,30	217,10		
Máximo	75,85	118,94	155,59	190,45	224,60		
Mínimo	68,37	113,73	149,47	181,45	210,90		

Tabela 4.43. Dados para determinação das curvas de permeabilidade (SR)

SR	V ₁₀	V ₂₀	V ₃₀	V ₄₀	V ₅₀	C	n
20/out							
02/nov	43,27	82,97	121,41	159,06	196,14	4,98	0,939
13/nov	73,96	116,86	152,71	184,65	213,94	16,18	0,660
27/nov	72,55	114,32	149,16	180,14	208,54	16,02	0,656
27/nov	74,23	117,86	154,46	187,13	217,16	15,98	0,667
15/dez	87,67	123,64	151,18	174,37	194,78	27,98	0,496
15/dez	54,81	104,43	152,27	198,98	244,87	6,44	0,930
21/dez	72,34	106,57	133,69	157,01	177,87	19,97	0,559
Média	73,58	116,35	152,11	183,97	213,22		
Máximo	74,23	117,86	154,46	187,13	217,16		
Mínimo	72,55	114,32	149,16	180,14	208,54		

Tabela 4.44. Dados para determinação das curvas de permeabilidade (SC)

SC	V ₁₀	V ₂₀	V ₃₀	V ₄₀	V ₅₀	C	n
20/out	44,53	70,76	92,77	112,42	130,50	9,57	0,668
02/nov	32,82	59,66	84,62	108,43	131,43	4,51	0,862
13/nov	41,39	63,04	80,63	96,01	109,94	10,23	0,607
27/nov	44,93	65,51	81,68	95,52	107,85	12,84	0,544
27/nov	41,33	63,69	82,03	98,16	112,82	9,82	0,624
15/dez	44,13	65,70	82,92	97,80	111,17	11,77	0,574
15/dez	29,13	57,18	84,84	112,24	139,46	3,10	0,973
21/dez	41,63	56,44	67,43	76,51	84,38	15,15	0,439
Média	43,05	65,75	84,28	100,53	115,28		
Máximo	44,93	70,76	92,77	112,42	130,50		
Mínimo	41,33	63,04	80,63	95,52	107,85		

Para a determinação da curva de permeabilidade final (incluindo todos os ensaios) utilizou-se a média dos caudais medidos para cada diferencial de pressão, considerando apenas os ensaios seleccionados. Com estes valores de caudal e diferencial de pressão, minimizou-se o erro quadrático da seguinte equação:

$$\text{Log}(Q) = \text{Log}(C) + n \times \text{Log}(\Delta p) \quad (4.9)$$

Os resultados estão apresentados na Tabela 4.45.

Tabela 4.45. Valores finais dos parâmetros C e n

	V ₁₀	V ₂₀	V ₃₀	V ₄₀	V ₅₀	C	n
NS	72,11	115,87	152,97	186,30	217,10	14,90	0,685
SR	73,58	116,35	152,11	183,97	213,22	16,06	0,661
SC	43,05	65,75	84,28	100,53	115,28	10,51	0,612
NS-SC	29,06	50,12	68,69	85,77	101,82	4,84	0,78
NS-SR	-1,47	-0,47	0,86	2,33	3,88	1,4E-05	3,213

A linha da Tabela correspondente a “NS-SC”, ou seja, a diferença entre o caudal de nada selado e selado apenas a caixilharia, é obtida pela subtração dos caudais médios das situações NS e SC. Sendo o valor de C e n calculado de acordo com a metodologia exposta anteriormente.

Em relação à linha correspondente a “NS-SR”, ou seja, a diferença entre o caudal de nada selado e selado apenas a roldana, o procedimento seria idêntico. Contudo nesta situação, para diferenciais de pressão baixos, obtiveram-se valores negativos de caudal o que inviabiliza o procedimento anterior que utiliza logaritmos. Portanto, utilizou-se aqui um ajuste à expressão normal do caudal para se calcular o C e n. No entanto como se pode verificar os valores obtidos são muito dispares do esperado, o que se pode explicar pelos valores muito baixos de caudal que certamente estão afetados de erros e incertezas significativas.

Os resultados das aproximações são muito bons, excepto o caso “NS-SR”, já referido, como se pode verificar na Figura 4.43, para o caso de nada selado, onde a função de aproximação e o caudal medido estão perfeitamente sobrepostos.

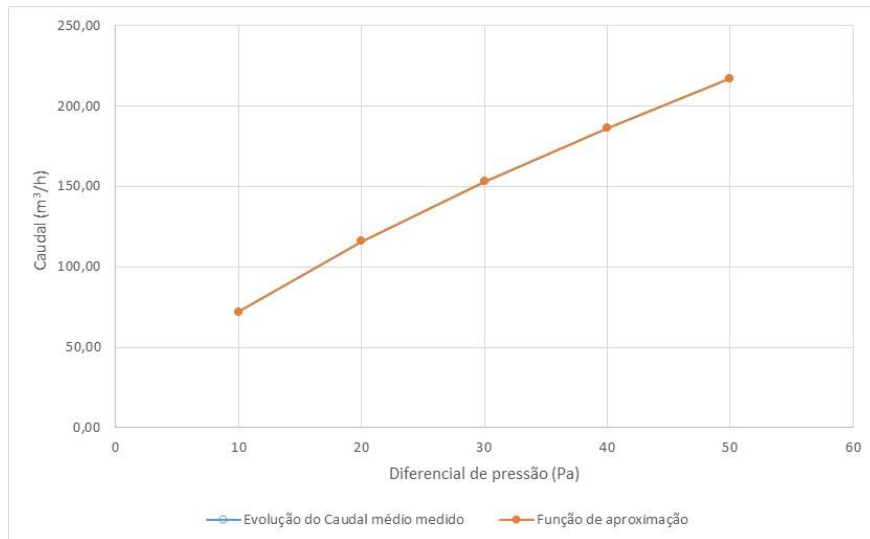


Figura 4.43. Gráfico final da evolução do caudal em função do diferencial de pressão - NS

4.4. AVALIAÇÃO EXPLORATÓRIA DA ANÁLISE AVANÇADA DE RESULTADOS

Uma outra possibilidade para a análise e avaliação dos termogramas obtidos poderia ter sido a sua conversão em matrizes de temperaturas a serem processadas, por exemplo, em *Matlab*, que possui várias ferramentas de cálculo e processamento de dados que permitem melhorar a qualidade dos resultados e as imagens obtidas.

Como exemplo de um possível tratamento de resultados, foram utilizados dois termogramas referentes ao ensaio “Janela em vista frontal com aquecimento da parede – JFca” de 2 de Novembro. Neste exemplo aborda-se o caso em que existiam dois termogramas com um ligeiro desajuste no posicionamento da câmara entre eles, Figura 4.44 e Figura 4.45.

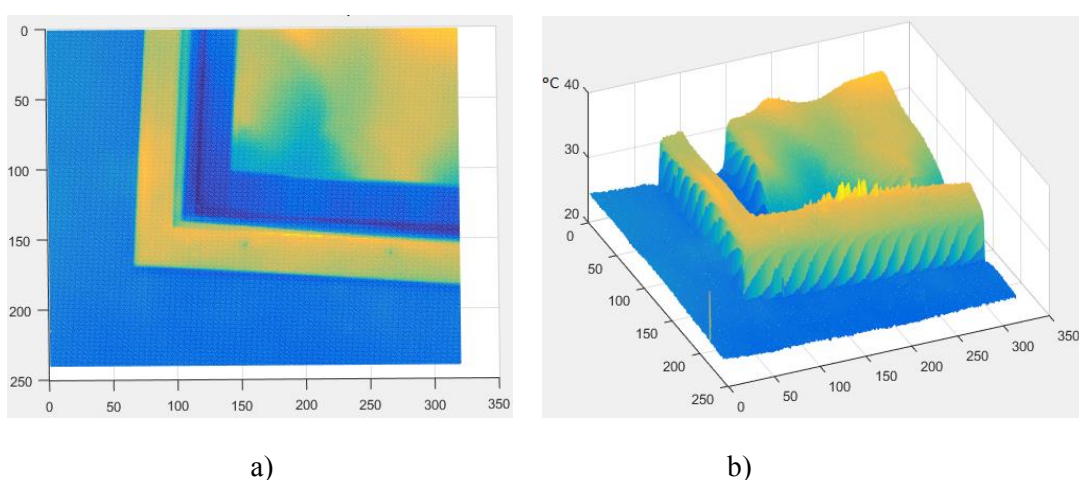


Figura 4.44. Tratamento da matriz de pontos em *Matlab*: a) Termograma n°1 em visualização 2D; b)Termograma n°1 em visualização 3D

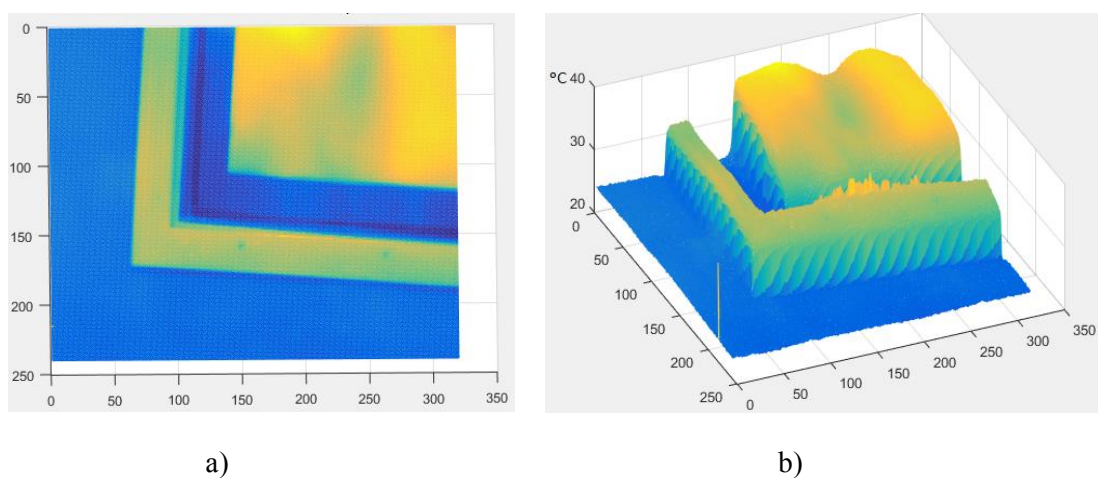


Figura 4.45. Tratamento da matriz de pontos em *Matlab*: a) Termograma n°2 em visualização 2D; b)Termograma n°2 em visualização 3D

Ao subtrair as temperaturas dos dois termogramas para detetar os locais onde existiram variações de temperatura resultantes apenas da entrada de ar frio proveniente do exterior, o desajuste de posição criaria falsas diferenças. Estes dados errados evidenciam-se em certos locais do termograma, principalmente nas zonas de transição de materiais que estavam a diferentes temperaturas, por exemplo, entre a parede e a guarnição de madeira, Figura 4.46.

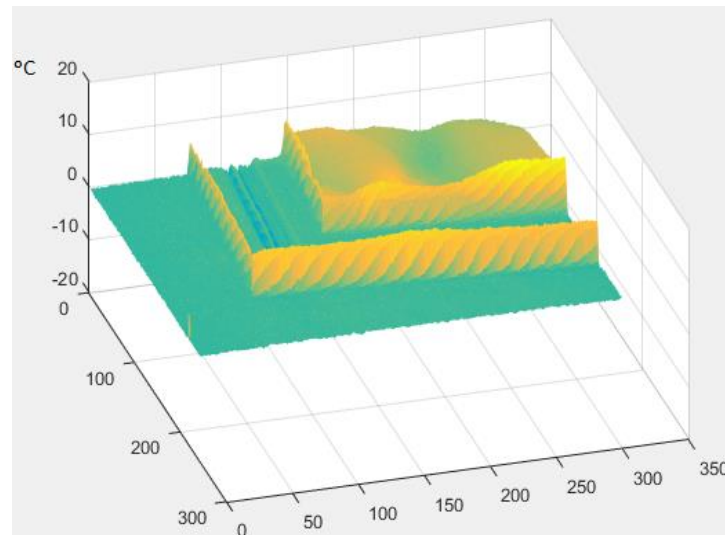


Figura 4.46. Subtração dos termogramas em *Matlab* sem ajuste de posição

De notar que os valores máximos visualizados para as diferenças de temperaturas entre os dois termogramas ocorrem nas zonas de transição e não na zona em estudo, claramente devido a um desajuste entre as imagens.

Utilizando o canto da janela numa zona em que a temperatura seja idêntica nos dois termogramas recorreu-se a um algoritmo de ajuste que, variando a posição e orientação de um termograma em relação ao outro, minimiza em termos absolutos a diferença de temperatura entre essas duas zonas. Encontrado o valor ótimo, esse deslocamento é imposto a toda a imagem. A diferença agora resulta numa imagem onde estão muito atenuadas as diferenças devidas ao incorreto ajuste das bordas de transição referidas acima, ou seja, a diferença agora resulta unicamente devido à entrada de ar, Figura 4.47. Observa-se que a variação de temperaturas é bastante menor, com a escala a alterar-se de -20°C a 20°C para de -5°C a 10°C, principalmente devido a variações de temperatura na zona de estudo.

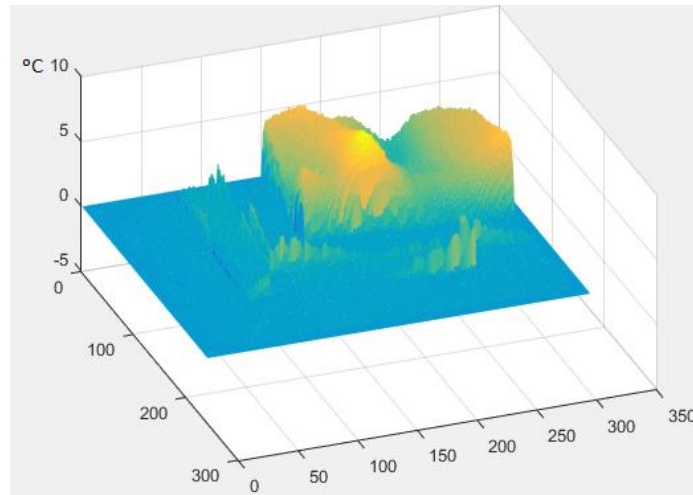


Figura 4.47. Subtração dos termogramas em *Matlab* com ajuste de posição

Outro tipo de processamento que se poderia efetuar sobre estas imagens seria a aplicação de filtros, resultando numa redução evidente do ruído presente na imagem, obtendo-se um termograma com transições suavizadas, Figura 4.48.

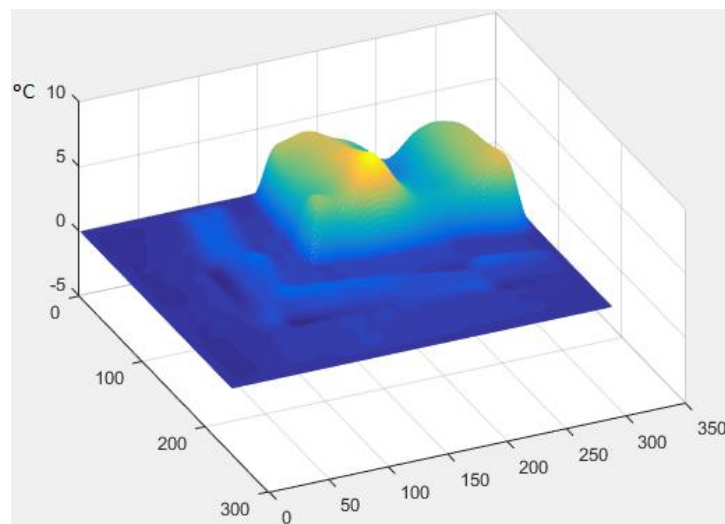


Figura 4.48. Subtração dos termogramas em *Matlab* com ajuste de posição e com aplicação de filtro

4.5. SÍNTESE CRÍTICA

Através de todo o procedimento de ensaios e da posterior análise de resultados foi possível concluir que a termografia de infravermelhos é uma ferramenta com bastante potencial para a avaliação, quer qualitativa quer quantitativa, da estanqueidade ao ar de elementos construtivos, uma vez que permitiu detetar e analisar com grande nível de detalhe as zonas por onde ocorreram as infiltrações de ar. Foi possível tirar diversas conclusões, umas de carácter mais exploratório, outras mais inovadoras. Os ensaios realizados usando a Termografia Ativa, mais concretamente os ensaios onde o diferencial de pressão ia aumentando com o decorrer do tempo (“Janela em vista frontal com aquecimento da parede - JFca” e “Roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade - RLca”) permitiram as seguintes conclusões:

- O aquecimento prévio da zona em análise é um fator crucial e ao qual deve ser dada especial atenção, uma vez que deve ser atingida uma temperatura ideal e uniforme em toda a área em estudo, principalmente se se quiser efetuar uma comparação do mesmo tipo de resultados em diferentes alturas. Essa temperatura inicial da superfície deve assim ser igual em todos os ensaios, para serem garantidas condições iniciais semelhantes. A determinação do período de tempo necessário à estabilização da temperatura superficial inicial é fundamental em ensaios futuros.
- A duração dos ensaios influencia bastante os resultados, sendo que os ensaios que tiveram menor duração apresentaram resultados mais regulares.
- Trata-se de um ensaio muito sensível ao posicionamento e fixação da superfície em estudo, principalmente se se tratar de uma cartolina, uma vez que as suas deformações podem originar resultados enganadores. Por outro lado, a fixação pontual é detetada no termograma, podendo interferir nos resultados se se localizar na zona em análise.
- Existe uma forte correlação entre a temperatura de referência e a temperatura exterior quando a superfície em estudo está em contacto com o vidro e portanto com uma temperatura superficial muito próxima da exterior (ensaio JFca). Quando a superfície em estudo está no interior do compartimento e, portanto, com uma temperatura superficial mais próxima da temperatura interior (ensaio RLca), existe uma forte correlação entre a temperatura de referência e a temperatura interior.

Os ensaios de Termografia Ativa “Roldana inferior da fita de estore em vista frontal com aquecimento de cartolina - RFcac” e “Canto superior direito da janela em vista frontal com aquecimento do painel de baixa condutibilidade - CFcac”, nos quais se fez a análise da evolução da temperatura superficial e da taxa de arrefecimento com o tempo, sempre para o mesmo diferencial de pressão, permitiram as seguintes conclusões:

- Verifica-se que apesar de não existir uma uniformidade na temperatura inicial, a sua evolução ao longo do tempo é semelhante, sendo mais acentuada no início do ensaio e tendendo para a estabilização no final. O facto da temperatura inicial ser diferente nos vários ensaios condiciona também a taxa de arrefecimento.

- O aumento do diferencial de pressão não teve grande influência nem no tempo que decorre entre o início do ensaio e a estabilização da temperatura superficial nem na temperatura de estabilização.
- A velocidade e direção do vento não apresentam nenhuma correlação com a velocidade de entrada do ar no compartimento. Como seria de esperar, o aumento do diferencial de pressão levou ao aumento da velocidade de entrada do ar.
- Existe uma forte correlação entre a temperatura exterior e as constantes de tempo da função de aproximação utilizada para a evolução temporal da temperatura média da zona de influência e da zona de referência. Esta correlação passa a ser moderada a elevada com as constantes de tempo da função de aproximação utilizada para a evolução temporal da taxa de arrefecimento da zona de influência e da zona de referência.
- Existe uma correlação entre a temperatura interior e as constantes de tempo anteriormente referidas para o ensaio RFcac. Contudo, a temperatura interior também tem uma forte correlação com temperatura final da cartolina, como seria de esperar pois a temperatura da zona em estudo tende para a temperatura ambiente. Ao contrário, para o ensaio CFcac, verifica-se uma correlação bastante boa entre temperatura final do painel e a temperatura exterior, o que pode ser explicado pelo facto do painel estar próximo da zona envidraçada e a entrada de ar pelas aberturas da caixa de estore ser muito acentuada.
- Para os diferenciais de pressão elevados, nota-se uma melhoria na correlação entre a temperatura interior e o valor inicial da taxa de arrefecimento.
- Verifica-se que as taxas de arrefecimento nos momentos iniciais quando se usa o painel de baixa condutibilidade térmica (CFcac) são muito menores do que quando se usa a cartolina (RFcac), apesar de a entrada de ar no primeiro caso ser mais elevada, o que pode estar relacionado quer com a direção com que o ar incide na superfície, quer com as propriedades da própria superfície.

Em suma, em relação à Termografia Ativa, pode referir-se que é bastante importante que a temperatura da cartolina/painel estar estabilizada antes do ensaio e ser uniforme em toda a sua área. Para uma correta comparação entre diferentes ensaios é importante que o valor da temperatura inicial da cartolina/painel seja o mesmo em todos. Um procedimento de ensaio rígido, com condições perfeitamente definidas, é imprescindível se se pretender estudar a influência, por exemplo, dos parâmetros climáticos (temperatura exterior, radiação, velocidade e direção do vento).

Os ensaios com Termografia Passiva, nomeadamente o ensaio “Janela em vista frontal sem aquecimento da parede - JFsa”, o ensaio “Canto superior direito da janela em vista frontal sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica - CFsa” e o ensaio “Roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade térmica - RLsa”, permitiram as seguintes conclusões:

- A área/linha de influência a considerar no tratamento dos resultados não condiciona as conclusões obtidas, desde que seja definida de uma forma criteriosa. No entanto, a utilização de uma linha de influência pode estar mais suscetível à influência de uma qualquer variação na

temperatura superficial não resultante da entrada de ar, mas, por exemplo, da presença do operador da câmara junto à superfície em estudo.

- A coerência entre resultados do mesmo ensaio efetuados em dias diferentes é mais difícil de obter porque as variações na temperatura superficial devidas à entrada do ar são muito pequenas e estão, por isso, sujeitas a uma maior influência de fatores externos, como por exemplo, a presença do operador da câmara junto à superfície em estudo ou o aumento da temperatura do ar interior no decorrer do ensaio.

De modo a acautelar os efeitos referidos, deve-se garantir uma temperatura interior pelo menos 5°C acima da temperatura exterior. Antes da realização dos ensaios, também se deve esperar o tempo suficiente para a temperatura ambiente estabilizar de modo a não ocorrerem flutuações significantes de temperatura durante o ensaio. Por fim, não se deve intercalar termografia ativa com termografia passiva.

Quer na Termografia Ativa, quer na Termografia Passiva foi possível verificar que não é necessário a utilização de diferenciais de pressão muito elevados para se conseguir evidenciar o efeito de entrada de ar pela abertura em análise. Nos ensaios com diferenciais de pressão de 40Pa já é notório o aparecimento de uma zona mais fria correspondente à entrada de ar.

Convém referir que, apesar das correlações testadas neste trabalho não traduzirem um fenómeno físico que possa eventualmente ser relacionado com a permeabilidade da janela, é importante serem analisadas para, no futuro, se estabelecerem correlações entre os resultados da termografia e a permeabilidade dos elementos construtivos.

As principais conclusões relativas aos Ensaios de Despressurização são as seguintes:

- Os valores obtidos para as médias do parâmetro caudal de ar e renovação de ar para um diferencial de pressão de 50 Pa (V_{50}) para o caso de “nada selado” e de “selada a roldana” são um valor muito semelhante e que selando a caixilharia, o caudal de ar que entra no compartimento passa praticamente para metade. Os valores obtidos nos diferentes ensaios apresentam um desvio padrão relativamente baixo.
- Notaram-se variações significativas nos resultados dos ensaios que foram efetuados com uma velocidade do vento igual ou superior a 2 m/s, tendo-se, por isso, sido excluídos da análise de resultados.
- Existe uma correlação entre a velocidade do vento e os parâmetros V_{50} , n_{50} e n .

Por fim, pode-se concluir que para aberturas com pequenas dimensões que originam caudais muito baixos, a estimativa destes caudais através da subtração dos caudais obtidos em dois ensaios, um com a abertura selada e outro sem estar selada, não é muito viável pois os valores obtidos para os caudais a baixas pressões não tem a precisão desejada.

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A termografia de infravermelhos é uma ferramenta com bastante potencial para a avaliação, quer qualitativa quer quantitativa, da estanqueidade ao ar de elementos construtivos, uma vez que permite detetar e analisar com grande nível de detalhe as zonas por onde ocorreram as infiltrações de ar. A realização deste trabalho conduziu a diversas conclusões, umas de carácter mais exploratório, outras mais inovador. Para a termografia ativa as principais conclusões são:

- Verificou-se que a temperatura inicial da superfície, resultante da duração do aquecimento e da posição da cartolina/painel relativamente à lâmpada de infravermelhos, é fundamental.
- A duração dos próprios ensaios influencia bastante os resultados.
- O posicionamento e fixação da superfície em estudo (cartolina/painel) pode condicionar os resultados, nomeadamente no que diz respeito ao aparecimento de padrões térmicos que nada têm a ver com as infiltrações e nas correlações entre a temperatura superficiais e a temperatura interior /exterior.
- A evolução da temperatura superficial ao longo do tempo é semelhante, sendo mais acentuada no início do ensaio e tendendo para a estabilização no final, embora as equações de ajuste variem em função do tipo de ensaio e do dia em que decorre.
- A velocidade e direção do vento não apresentam nenhuma correlação com a velocidade de entrada do ar no compartimento.
- A direção com que o ar incide na superfície e as propriedades da própria superfície influenciam a evolução da temperatura superficial.

Para a termografia passiva, as principais conclusões são:

- Verificou-se que as áreas de influência a considerar no tratamento dos resultados não condicionam as conclusões obtidas, desde que seja definidas de uma forma criteriosa. As linhas de influência são um critério de tratamento de dados menos robustos por ser mais suscetível à influência de uma qualquer variação na temperatura superficial não resultante da entrada de ar.
- A coerência entre resultados do mesmo ensaio efetuados em dias diferentes é mais difícil de obter porque as variações na temperatura superficial devidas à entrada do ar são muito pequenas e estão, por isso, sujeitas a uma maior influência de fatores externos.

- É fundamental garantir-se uma temperatura interior pelo menos 5°C acima da temperatura exterior. A temperatura interior deve ser mais ou menos estável durante o ensaio.

Quer na Termografia Ativa, quer na Termografia Passiva foi possível verificar que não é necessário a utilização de diferenciais de pressão muito elevados para se conseguir evidenciar o efeito de entrada de ar pela abertura em análise. Nos ensaios com diferenciais de pressão de 30Pa já é notório o aparecimento de uma zona mais fria correspondente à entrada de ar.

Verificou-se através da interpretação dos resultados que o procedimento de ensaio é fundamental para garantir a reprodutibilidade dos resultados, nomeadamente no que diz respeito à evolução da variação da temperatura com as diferenças de pressão. Um procedimento de ensaio rígido, com temperaturas iniciais perfeitamente definidas e períodos preestabelecidos fixos para as alterações nos diferenciais de pressão são imprescindíveis se se quiser estudar a influência, por exemplo, dos parâmetros climáticos (temperatura exterior, radiação, velocidade e direção do vento).

Convém referir que, apesar das correlações testadas neste trabalho não traduzirem um fenómeno físico que possa eventualmente ser relacionado com a permeabilidade da janela, é importante serem analisadas para, no futuro, se estabelecerem correlações entre os resultados da termografia e a permeabilidade dos elementos construtivos.

Para os Ensaios de Despressurização as principais conclusões são as seguintes:

- Os valores obtidos para as médias do parâmetro caudal de ar e renovação de ar para um diferencial de pressão de 50 Pa (V_{50}) para o caso de “nada selado” e de “selada a roldana” é um valor muito semelhante e que selando a caixilharia, o caudal de ar que entra no compartimento passa praticamente para metade. Os valores obtidos nos diferentes ensaios apresentam um desvio padrão relativamente baixo.
- Existe uma forte correlação entre a velocidade do vento e os parâmetros V_{50} , n_{50} e n . A correlação sendo positiva indica que quanto maior for a velocidade do vento maior é o valor do caudal a entrar no compartimento.

Para aberturas com pequenas dimensões, que originam caudais muito baixos, a estimativa destes caudais através da subtração dos caudais obtidos em dois ensaios, um com a abertura selada e outro sem estar selada, não é fiável.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para trabalhos futuros podem referir-se as seguintes tarefas:

- Elaborar um protocolo bastante detalhado e rígido para a correta execução dos ensaios, que garantisse temperaturas iniciais da superfície em estudo idênticas para ensaios realizados em dias diferentes (valor adequado, estável e distribuição uniforme, que poderia ser garantido pela utilização uma estrutura que suportasse simultaneamente a lâmpada de infravermelhos, a superfície e a câmara termográfica, de modo a que mantivessem sempre a sua posição relativa, para o caso da termografia ativa). Cronometrar os tempos de aquecimento/captação das imagens também seria fundamental para garantir a coerência dos resultados. Assegurar uma temperatura ambiente no interior do compartimento aproximadamente constante e para aumentar o diferencial de temperatura com o exterior, para o caso da termografia passiva, também o que propiciaria melhores resultados.
- Avaliação da temperatura inicial ótima da superfície sob a influência da infiltração que melhor evidencia os seus efeitos. Neste estudo, além de se variar a fonte de calor e a distância da mesma ao painel, também seria interessante testar diferentes materiais para o painel e diferentes ângulos de incidência.
- Para a avaliação da evolução temporal das temperaturas e das taxas de arrefecimento, utilizar intervalos de tempo entre termogramas mais curtos no período inicial de arrefecimento ou diferenças de pressão menos elevadas para garantir um menor decréscimo da temperatura superficial, de modo a ser possível estudar com detalhe a variação de temperatura nesse intervalo de tempo. Assim seria possível comparar, para diferentes diferenciais de pressão, as curvas iniciais de evolução de temperatura.
- Realização sistemática de um número bastante elevado de ensaios (Termografia Ativa ou Passiva, análise dos termogramas para diferentes diferenciais de pressão ou análise dos termogramas ao longo do tempo) onde se registassem todas as condições do ensaio (parâmetros climáticos, condições interiores, velocidade do ar na zona da abertura, posicionamento da câmara e do operador face à superfície em estudo, material/propriedades da superfície em estudo), para se encontrar uma função de ajuste genérica para um determinado tipo de ensaio.
- Utilização do Matlab como ferramenta de tratamento dos dados obtidos através dos termogramas.
- Definição de critérios para correlacionar as temperaturas superficiais em estudo com a estanqueidade dos elementos construtivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sousa, L. Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2010.
- [2] Ramos, Nuno. Patologia vs Estanqueidade – A importância da avaliação da estanqueidade ao ar em edifício. Livro de Resumos da 5ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de edifícios, FEUP, Porto, pp.47, 2015.
- [3] Decreto Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto de 2013. *Diário da República nº 159 – I Série*. Ministério da Economia e do Emprego.
- [4] AWBI, H. Ventilation of buildings. 2nd. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2005.
- [5] Afonso, Clito Félix Alves. Uma metodologia para a caracterização de fluxos de ar multizona em edifícios. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1989.
- [6] Fennell, Henri C; Haehnel, Jonathan - Setting airtightness standards. ASHRAE journal. Vol. 47. n.º 9, 2005.
- [7] Fernández-Agüera, Jesica; Sendra, Juan José; Domínguez, Samuel. Protocols for measuring the airtightness of multi-dwelling units in Southern Europe. *Procedia Engineering*. Vol. 21. pp. 98-105, 2011.
- [8] Green Building Advisor, <http://www.greenbuildingadvisor.com/air-leaks-waste-energy-and-rot-houses>. Acedido em Setembro de 2015.
- [9] Silva, Pedro Correia Pereira. Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VISUALDOE. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Processos e Gestão da Construção, Universidade do Minho, Minho, 2006.
- [10] Wikipedia, <https://pt.wikipedia.org/wiki/Termografia>. Acedido em Outubro de 2015.
- [11] Barreira, Eva. Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção de Edifícios, FEUP, Porto, 2004.
- [12] Silva, Diana David Soares da Silva. Diagnóstico de Patologias em fachadas utilizando termografia. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [13] Marques, Diogo Filipe Palminha da Costa. Avaliação da qualidade térmica da envolvente de edifícios – Estudo de caso através da análise numérica e por termografia infravermelha. Dissertação

apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau Mestre em Engenharia Civil – Reabilitação de Edifícios, Lisboa, 2014.

[14] Reabilitação e Manutenção de Edifícios, <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=12049&st=alvenaria>. Acedido em Outubro de 2015.

[15] Barreira, Eva. Termografia para avaliação de patologias em edifícios – Limitações e oportunidades. Livro de Resumos da 5ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de edifícios, FEUP, Porto, pp.49, 2015.

[16] Sousa, L. Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2010.

[17] E. Grinzato; V. Vavilov; T. Kauppinen – Quantitative infrared thermography in buildings. *Energy and Buildings*. Vol. 29, pp. 1-9, 1998.

[18] John Snell and Rob Spring P.E. Testing Building Envelope Systems Using Infrared Thermography, The Snell Group, <http://www.ecw.org/sites/default/files/building-envelopes.pdf>. Acedido em Novembro de 2015.

[19] ISO 9972: Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method, 2015.

[20] EN13829 - Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method, 2001.

[21] Silva, Filipe João Pereira. Caracterização experimental e numérica da permeabilidade ao ar da envolvente e do sistema de ventilação de um edifício “gaioleiro”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.

[22] Sherman, Max H - Estimation of infiltration from leakage and climate indicators. *Energy and Buildings*. Vol. 10. n.º 1, pp. 81-86, 1987.

[23] McIntosh, G.B. 14th Canadian Conference on Building science and technology -Practical issues associated with the use of infrared thermography for detection of heat, air and moisture deficiencies in building envelopes, p.432-433.

[24] Infrared Training Center. Infiltraciones de aire, blower door, perfiles de presión, Curso avanzado de edificios. Publ 1560205_B-en-US, 2009.

[25] inSlideShare – O que são anemómetros, http://pt.slideshare.net/lucas_cechin/o-que-so-anemmetros. Acedido em Setembro de 2015.

[26] TSI, understanding accelerated, <http://www.tsi.com/airflow-instruments-thermal-anemometer-ta5/>. Acedido em Novembro de 2015.

[27] Thermo Tracer TH9100 Series Operation Manual, NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd., Edição 1, Japão, Agosto, 2007.

[28] Martins de Carvalho, J.L. Sistemas de Controlo Automático, LTC – Livros Técnicos e científicos, Editora S.A., pp.13-14, 2000.

[29] Ogata, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno, Pearson Education do Brasil, pp.154-156, 2003.

ANEXOS

ANEXO I – FOLHA DE PLANEAMENTO DE ENSAIOS

PLANO DE ENSAIO

Nome: Mariana Fontoura Moreira	Orientador: Professora Doutora Eva Barreira
	Coorientador: Professor Doutor Ricardo Almeida
Secção: Secção de Construções	
Título da dissertação: Avaliação da estanqueidade ao ar através da termografia de infravermelhos e da porta ventiladora	

1) Procedimento e cronograma dos ensaios.

- i) Ensaios de despressurização a velocidade variável e utilização simultânea da câmara termográfica para a avaliação das fugas:
 - a) com a janela em vista frontal sem e com aquecimento da parede;
 - b) com a janela em vista lateral sem aquecimento da parede/caixilharia e com aquecimento da cartolina;
 - c) com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal sem e com aquecimento da cartolina;
 - d) com a roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem e com aquecimento do painel de baixa condutibilidade;
 - e) com o canto superior direito da janela em vista frontal sem e com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.
- ii) Ensaios de despressurização a pressões adequadas com intervalos de 10Pa (10Pa, 20Pa, 30Pa, 40Pa e 50Pa) sem nada selado no compartimento.
- iii) Ensaios de despressurização a pressões adequadas com intervalos de 10Pa (10Pa, 20Pa, 30Pa, 40Pa e 50Pa) com os pontos de fuga analisados anteriormente selados.

Os ensaios referidos nesta secção serão realizados nos meses de outubro, novembro e dezembro. Durante os referidos meses pretende-se realizar os ensaios em dias que apresentem condições climáticas diferentes. Em cada dia será realizado um ou dois conjunto de ensaios durante o período da manhã e/ou da tarde.

2) Lista de equipamento:

- Porta ventiladora
- Anemómetro
- Câmara Termográfica e tripé
- Máquina fotográfica
- Sensor de Temperatura e Humidade relativa do ar
- Estação Meteorológica
- Computador
- Rolos de fita de pintor
- Lâmpada Infra-vermelhos
- Cartolina branca e preta (A3 e A4)
- Pannel de baixa condutibilidade
- Fita Cola

3) Lista de software a utilizar:

- InfReC Thermography Studio
- FLIR Tools
- RETROTEC FanTestic

4) Cuidados a ter:

Antes do ensaio:

- Anotar a hora de começo do ensaio;
- Anotar as temperaturas exterior e interior e as respetivas humidades;
- Verificar se a câmara termográfica se encontra focada;
- Verificar se a porta ventiladora e o respetivo ventilador estão colocados corretamente;
- Verificar se os tubos que medem as pressões de ar estão colocados corretamente, um fora do compartimento e o resto dentro do mesmo;
- Verificar se a janela está fechada;
- Verificar se o software a utilizar está com a norma correta.

Durante o ensaio:

- Apontar todos os diferenciais de pressão e anotar os respetivos termogramas;
- Medir cuidadosamente a velocidade e temperatura do ar que está a entrar pelas frinchas para todos os diferenciais de pressão referidos a cima;
- Não se colocar em frente à câmara termográfica durante o decorrer do ensaio.

Depois do ensaio:

- Desligar corretamente todos os equipamentos utilizados;
- Marcar o local onde se colocou cada aparelho para que os ensaios realizados em dias posteriores sejam efetuados exatamente nas mesmas condições em termos de posicionamento dos aparelhos.

Anexo II – Ficha de Ensaio Geral

Ficha de Ensaio Geral

Título: Ensaios de despressurização e ensaios termográficos	Referência: TMM
---	-----------------

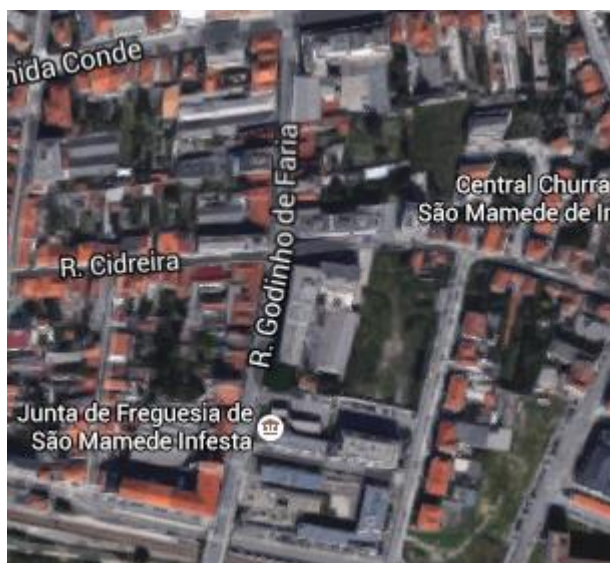
Período de experimentação: 20 de Outubro, 2 de Novembro, 13 de Novembro, 27 de Novembro, 15 de Dezembro e 21 de Dezembro.

Características do edifício

Local: Rua Godinho Faria
S. Mamede de Infesta

Piso: 2º

Orientação: oeste



Características do compartimento	Foto
<p>Área: 10,66 m²</p> <p>Pé direito: 2,60 m</p> <p>Volume: 27,73 m³</p> <p>Área janela: 1,65 m²</p> <p>Área envolvente: 8,06 m²</p> <p>Perímetro da envolvente: 11,4 m</p> <p>Nº de janelas: 1</p> <p>Orientação: Poente</p>	
Características do ensaio	Foto
<p>Referências normativas:</p> <p>BS EN 13829:2001: Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method.</p> <p>Equipamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Porta ventiladora - Anemómetro - Câmara Termográfica e tripé - Máquina fotográfica - Sensor de Temperatura e Humidade relativa do ar - Estação Meteorológica - Computador 	

Observações		
Referência	Descrição	Figura
ET_JFsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a janela em vista frontal sem aquecimento da parede	Figura nº1
ET_JFca	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a janela em vista frontal com aquecimento da parede	Figura nº2
ET_JLsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a janela em vista lateral sem aquecimento da parede/caixilharia	Figura nº3
ET_JLcac	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a janela em vista lateral com aquecimento da cartolina	Figura nº4
ET_RFsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal sem aquecimento da cartolina	Figura nº5
ET_RFcac	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com aquecimento de cartolina	Figura nº6
ET_RLsa	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade	Figura nº7
ET_RLca	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade	Figura nº7
ET_CFsca	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com o canto superior direito da janela em vista frontal sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade	Figura nº8
ET_CFcac	Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com o canto superior direito da janela em vista frontal com aquecimento do painel de baixa condutibilidade	Figura nº8
ED_NS	Ensaio de despressurização sem nada selado	Figura nº9
ED_SR	Ensaio de despressurização com a roldana inferior da fita de estore selada	Figura nº10
ED_SC	Ensaio de despressurização com a caixilharia selada	Figura nº11



Figura nº1



Figura nº2



Figura nº3

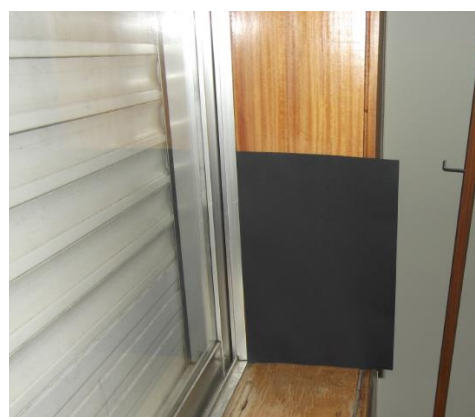


Figura nº4



Figura nº5

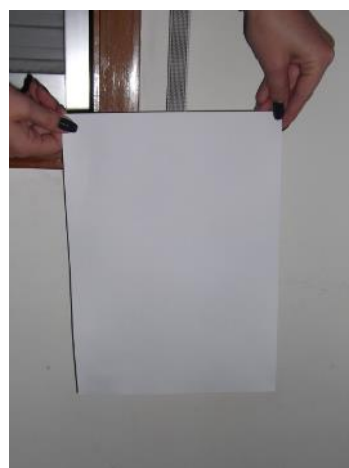


Figura nº6



Figura nº7



Figura nº8



Figura nº9



Figura nº10



Figura nº11

Autores do ensaio:

Mariana Fontoura Moreira

Professora Doutora Eva Barreira

Professor Doutor Ricardo Almeida

Anexo III – Fichas de Ensaios Individuais: Ensaios Termográficos

Ficha de Ensaio

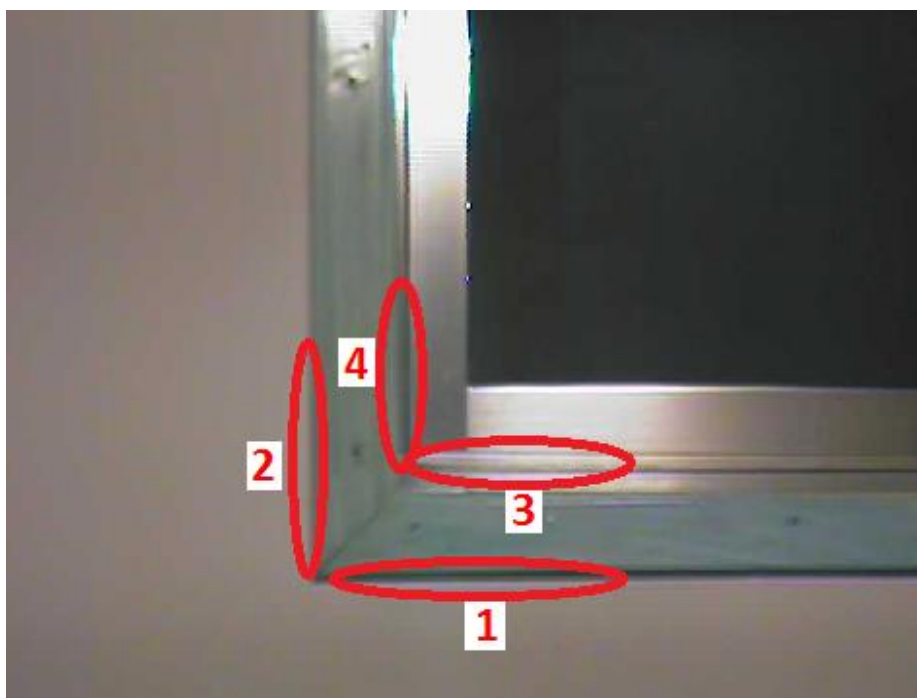
Referência de Ensaio: TMM_ET_JFsa	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 12:30
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,5	67,3	23,4	48,3	3,1	97

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal sem aquecimento da mesma. A figura seguinte demonstra os 4 pontos onde foi avaliada a velocidade e a temperatura do ar que entrava pela frincha em questão:



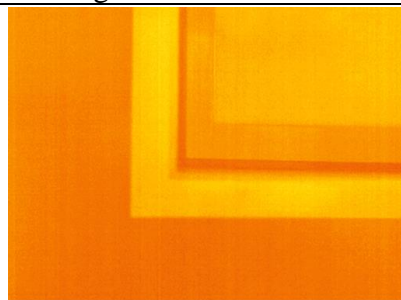
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto1 (m/s)	Tpto1 (C°)	Vpto2 (m/s)	Tpto2 (C°)	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	192	0	-	0	-	0,05	-	0,03	-
32	193	0	-	0	-	1,05	-	0,36	-
75	194	0	-	0	-	1,65	24,8	0,28	26
162	195	0	-	0	-	2,10	24,8	0,15	25,8

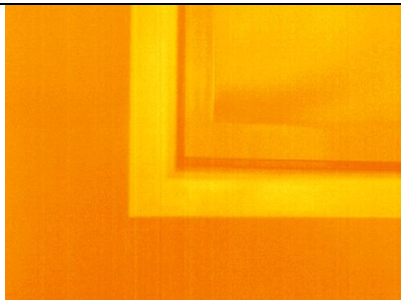
Observações

Para a medição da temperatura refletida utilizou-se folha de papel alumínio e os termogramas correspondentes são o nº190 e 191.

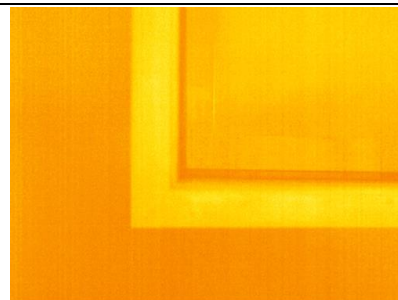
Termogramas



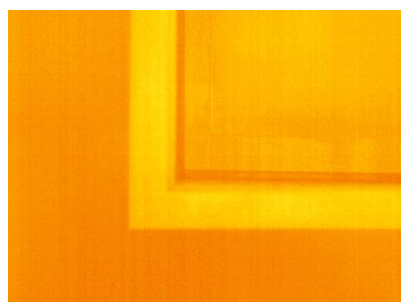
Termograma 192



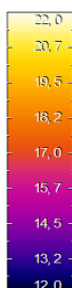
Termograma 193



Termograma 194



Termograma 195



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

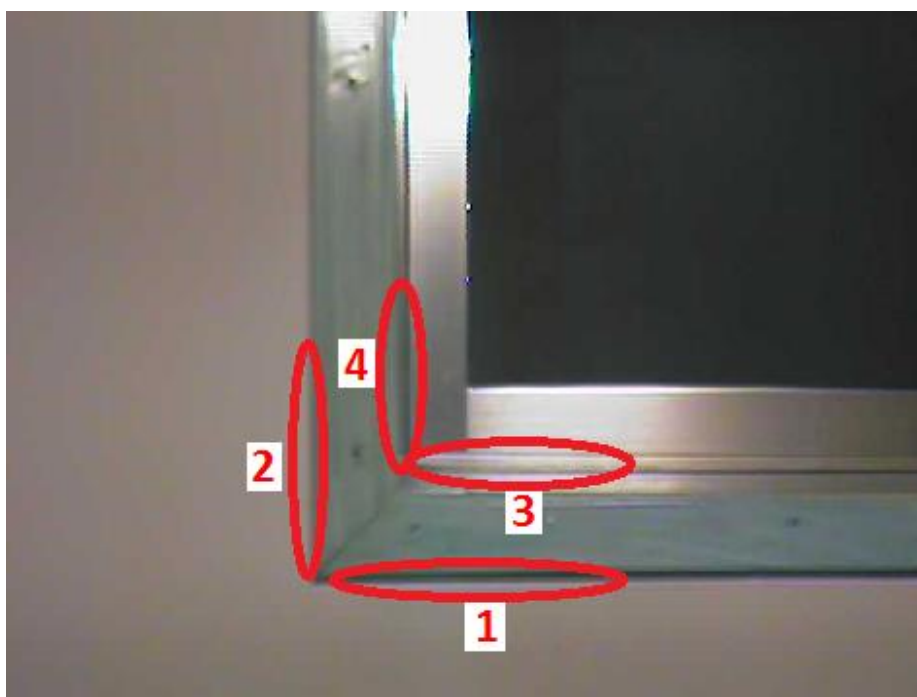
Referência de Ensaio: TMM_ET_JFca	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 12:50
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,1	66	23,7	47,3	2,5	194,7

Descrição do ensaio

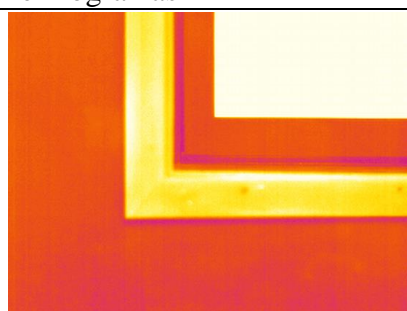
Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com aquecimento a mesma. A figura seguinte demonstra os 4 pontos onde foi avaliada a velocidade e a temperatura do ar que entrava pela frincha em questão:



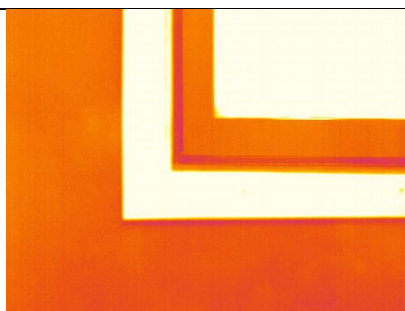
Resultados

ΔP	Termograma	Vpto1 (m/s)	Tpto1 (C°)	Vpto2 (m/s)	Tpto2 (C°)	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	196	0	-	0	-	0,05	-	0,03	-
33	197	0	-	0	-	1,05	-	0,36	-
76	198	0	-	0	-	1,65	24,8	0,28	26
155	199	0	-	0	-	2,10	24,8	0,15	25,8

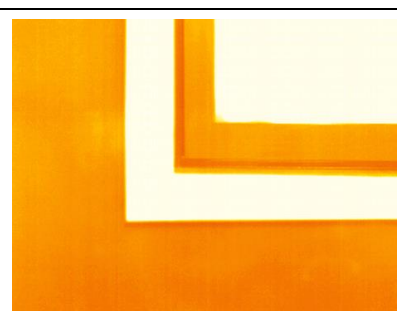
Termogramas



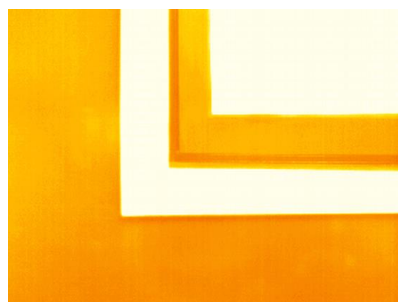
Termograma 196



Termograma 197



Termograma 198



Termograma 199



Barra de cores utilizada

Ficha de Ensaio

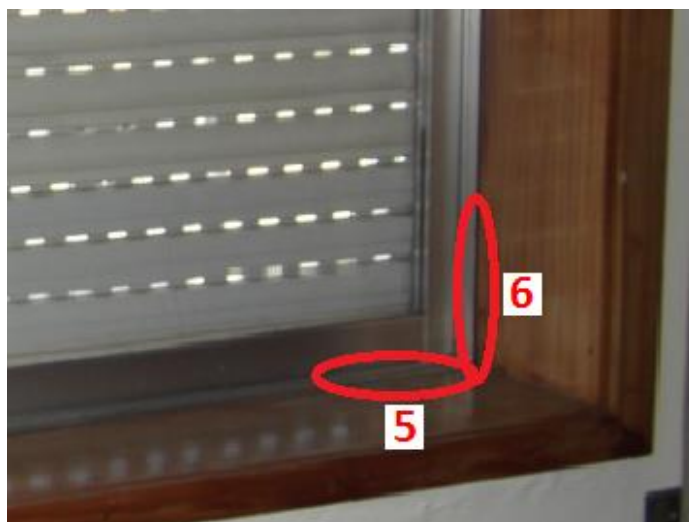
Referência de Ensaio: TMM_ET_JLsa	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 13:10
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,2	63,9	23,8	47,7	2,3	184,7

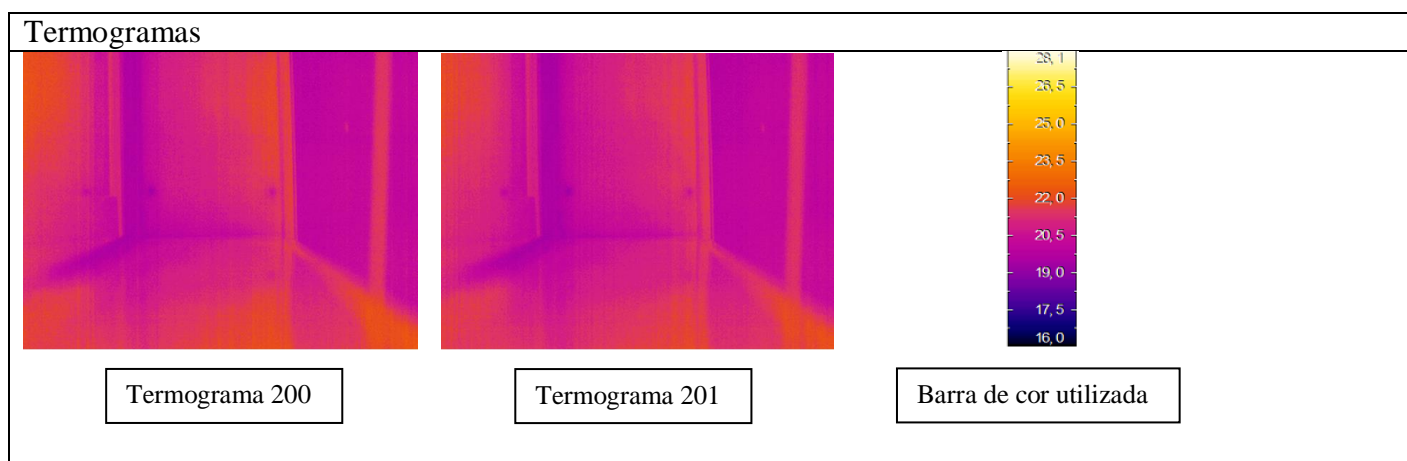
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista lateral sem aquecimento da mesma. A figura seguinte demonstra os 2 pontos onde foi avaliada a velocidade e a temperatura do ar que entrava pela frincha em questão:



Resultados

ΔP	Termograma	Vpto5 (m/s)	Tpto5 (C°)	Vpto6 (m/s)	Tpto6 (C°)
0	200	0	-	0	-
36	201	0,25	22,7	0,56	22,5



Ficha de Ensaio

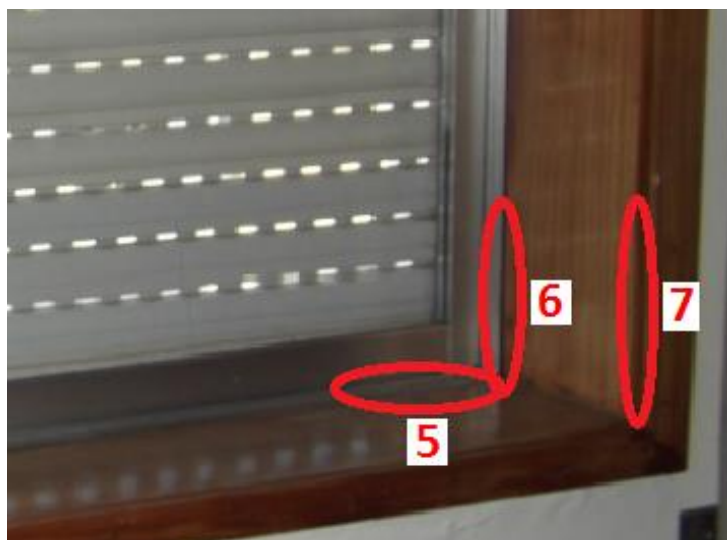
Referência de Ensaio: TMM_ET_JLcac	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 13:30
--	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,5	55,1	24	46,6	2,1	242,2

Descrição do ensaio

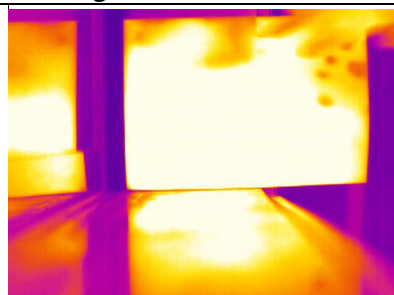
Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista lateral com utilização de cartolina preta e, posteriormente, de cartolina branca. A figura seguinte demonstra os 3 pontos onde foi avaliada a velocidade e a temperatura do ar que entrava pela frincha em questão:



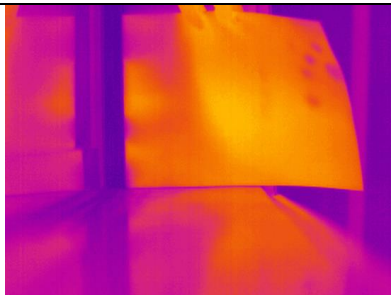
Resultados

ΔP	Termograma	Vpto5 (m/s)	Tpto5 (C°)	Vpto6 (m/s)	Tpto6 (C°)	Vpto7 (m/s)	Tpto7 (C°)	Obs.
83	202 até 204	1,95	23,1	1,77	22,7	-	-	1º aquecimento da cartolina preta.
164	205	-	-	-	-	-	-	Sem cartolina.
0	206 até 210	-	-	-	-	-	-	2º aquecimento da cartolina preta.
196	211 até 218	3,76	23,2	3,15	22,7	0,12	-	3º aquecimento da cartolina preta.
200	219 até 225	-	-	-	-	-	-	Até agora a cartolina preta estava adjacente ao aro metálico da caixilharia, encaminhando o ar pela sua frente. A partir de agora a cartolina vai estar numa posição que permita o ar passar por trás. Aqueceu-se a cartolina pela 4ª vez.
200	226 até 232	-	-	0,35	24,4	0,15	-	Como a cartolina preta estava com “barriga” nos termogramas anteriores, repetiu-se os ensaios retirando-se assim outros termogramas.
203	234 até 240	-	-	-	-	-	-	Utilização de cartolina branca para ter uma nova perceção. Aquecimento da cartolina branca.
205	241 até 244	-	-	-	-	-	-	Utilizando outra vez cartolina preta.

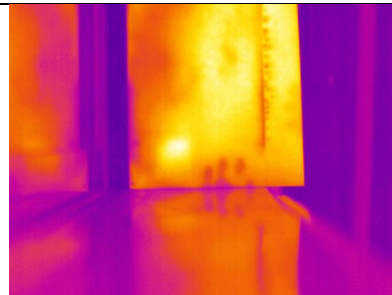
Termogramas



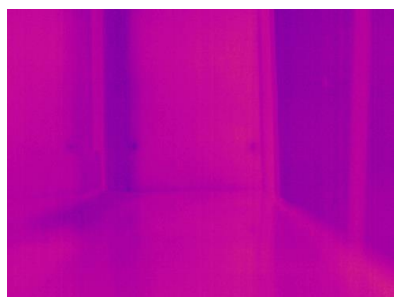
Termograma 202



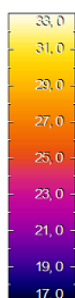
Termograma 203



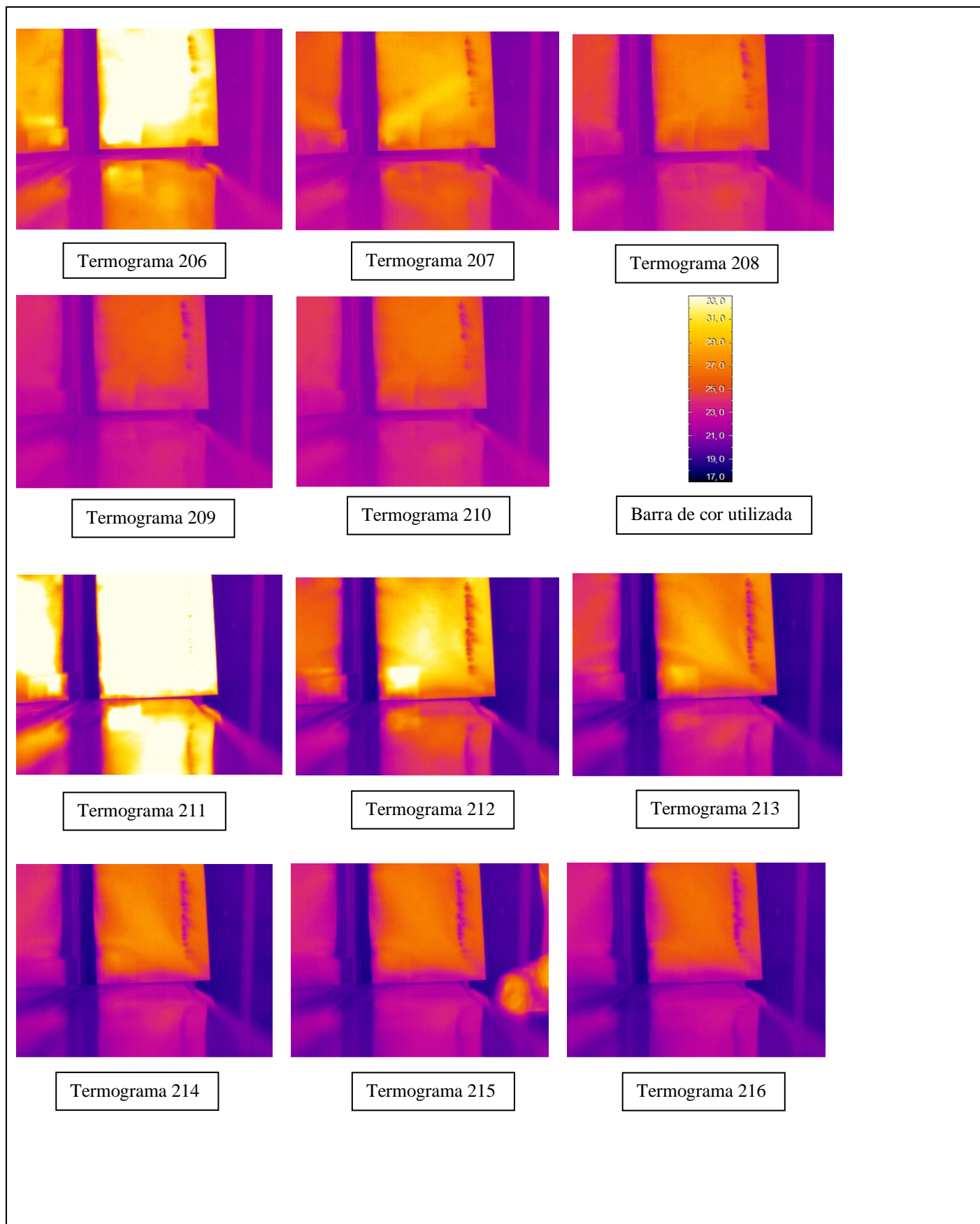
Termograma 204

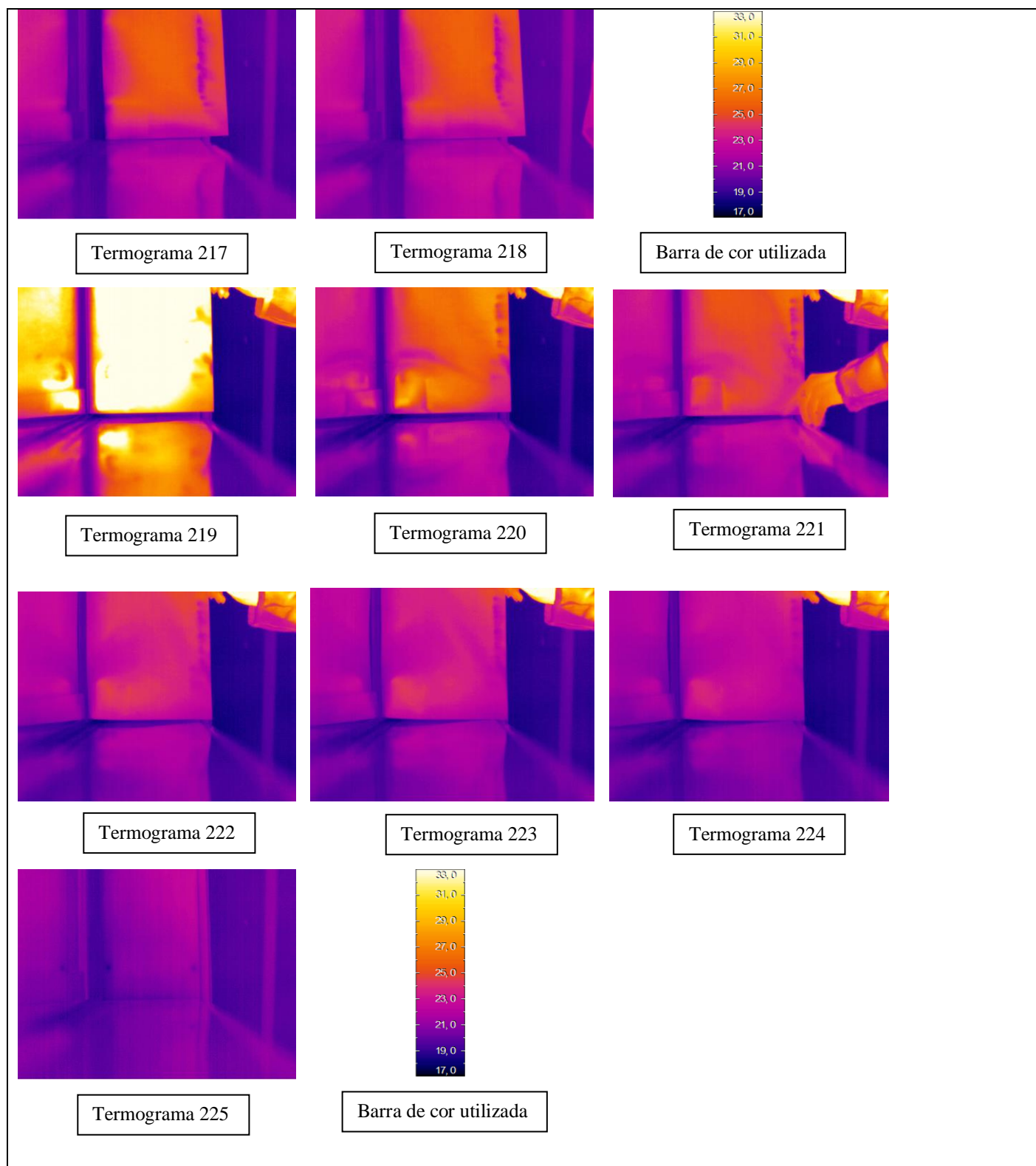


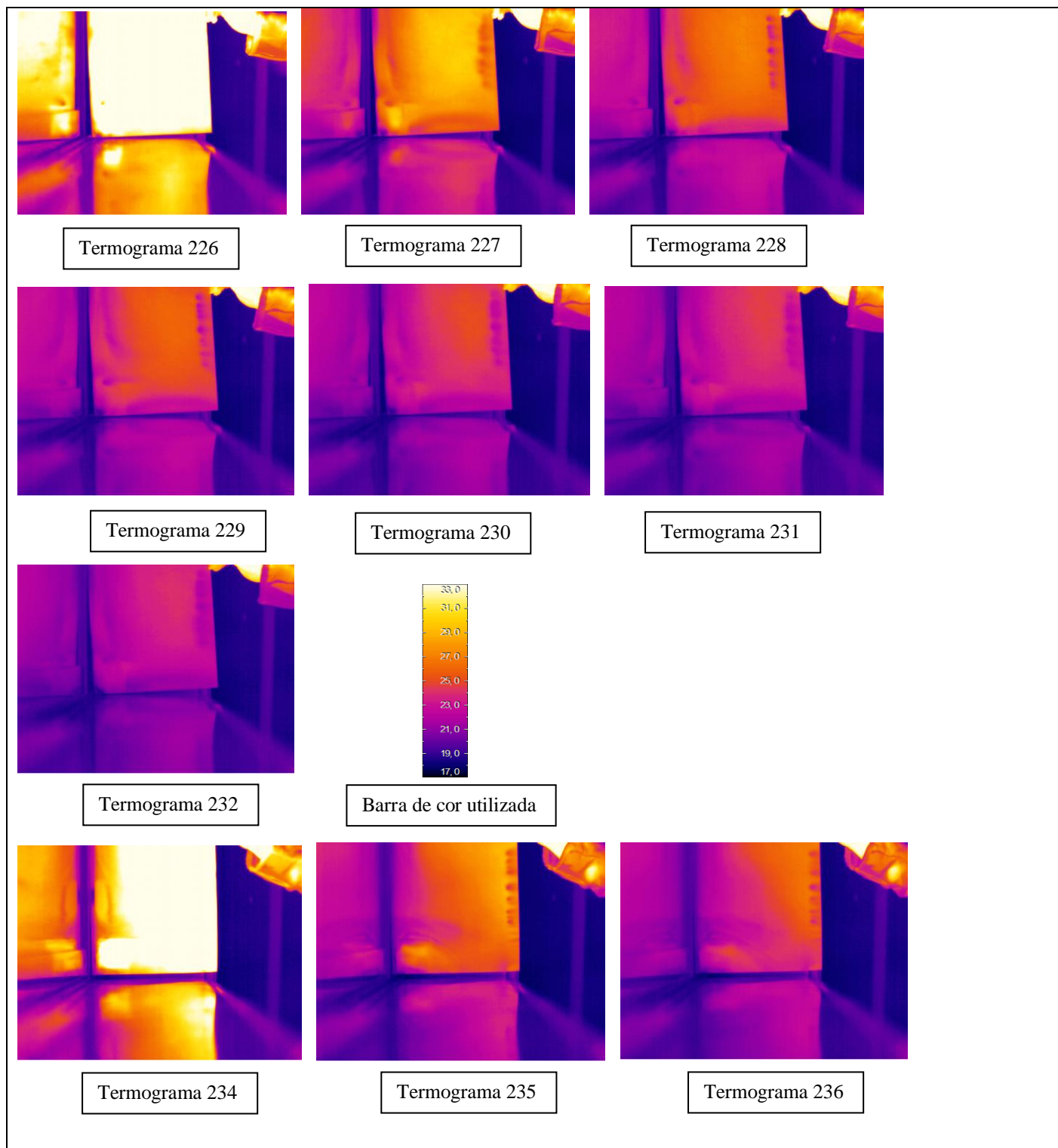
Termograma 205

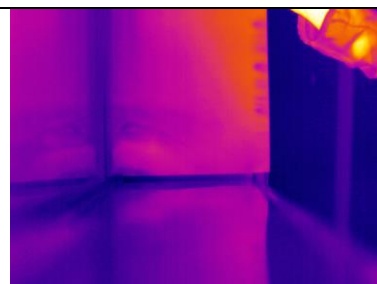


Barra de cor utilizada

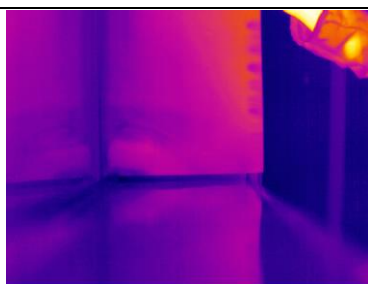




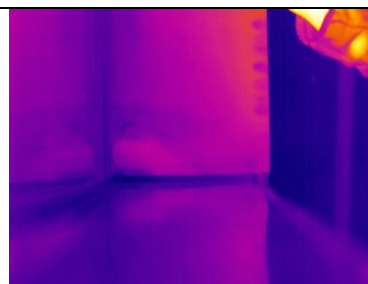




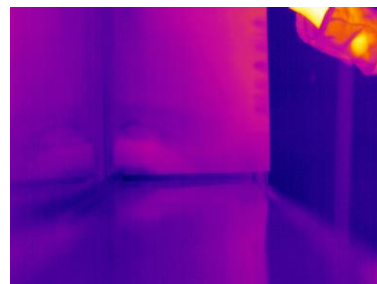
Termograma 237



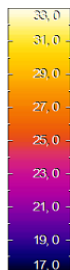
Termograma 238



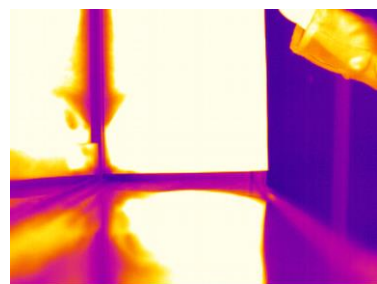
Termograma 239



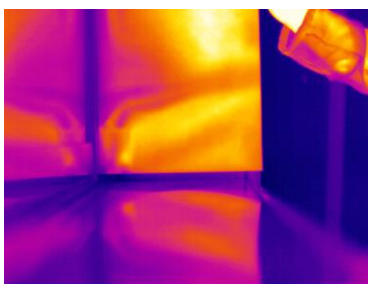
Termograma 240



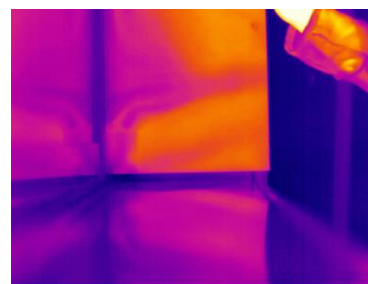
Barra de cor utilizada



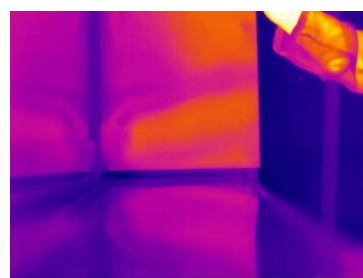
Termograma 241



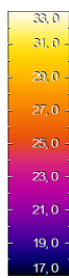
Termograma 242



Termograma 243



Termograma 244



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFsa	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 15:40
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,5	43,6	25,1	34,2	3,8	240,9

Descrição do ensaio

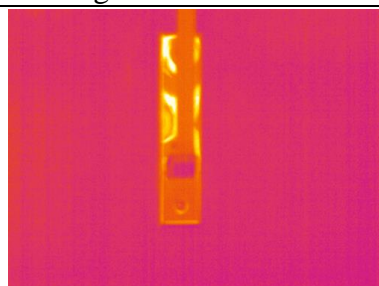
Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal sem aquecimento. A figura seguinte demonstra o ponto onde foi avaliada a velocidade e a temperatura do ar que entrava pela frincha em questão:



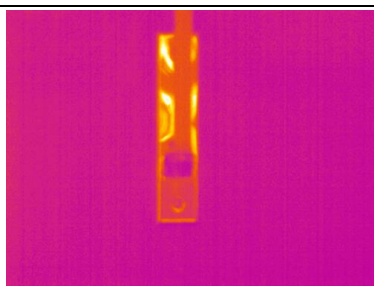
Resultados

ΔP	Termograma	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	245	-	-
29	246 e 247	0,02	23,7
70	248 e 249	1,30	23.1
153	250	2,40	22,6

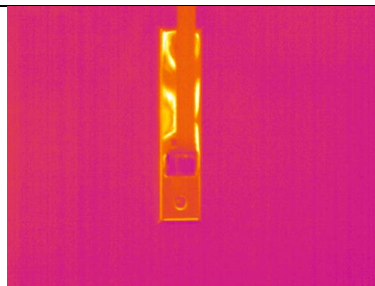
Termogramas



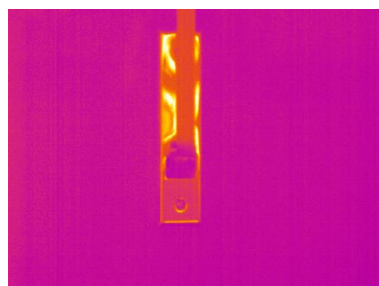
Termograma 245



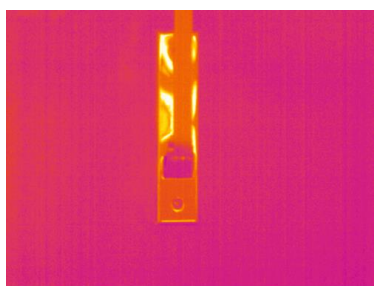
Termograma 246



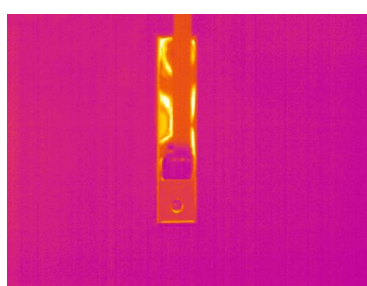
Termograma 247



Termograma 248



Termograma 249



Termograma 250



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFcac	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 15:50
--	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,6	43,9	24,8	33,9	5	282

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com a utilização de uma cartolina branca previamente aquecida.

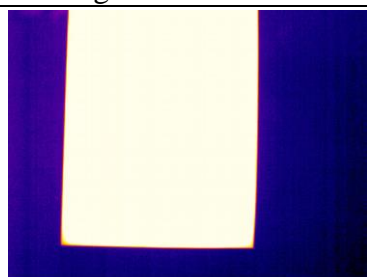
A figura seguinte demonstra o ponto onde foi avaliada a velocidade e a temperatura do ar que entrava pela frincha em questão:



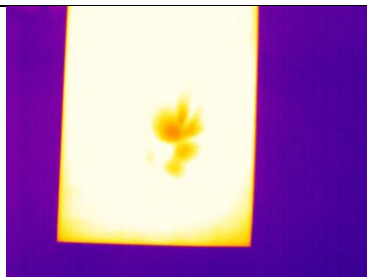
Resultados

ΔP	Termograma	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)	Obs.
0	251	-	-	1° aquecimento da cartolina branca.
79	252 até 262	1,30	23,1	-
0	263	-	-	2° aquecimento da cartolina branca.
205	264 até 276	3,20	22,2	-

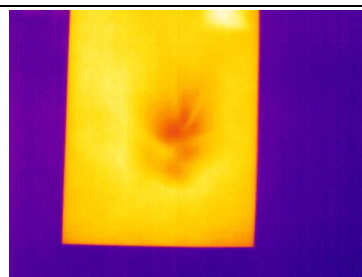
Termogramas



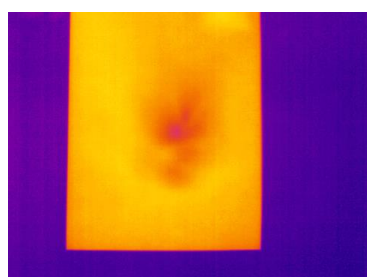
Termograma 251



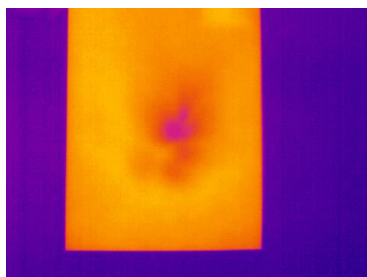
Termograma 252



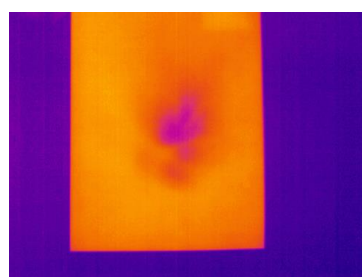
Termograma 253



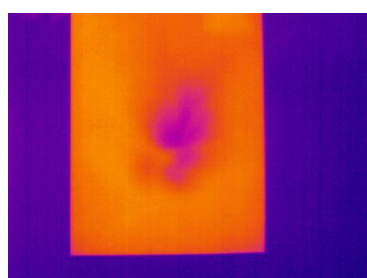
Termograma 254



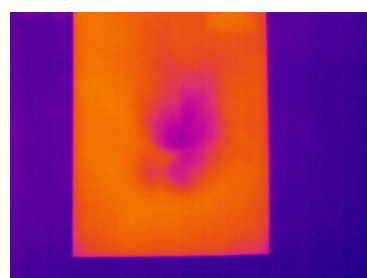
Termograma 255



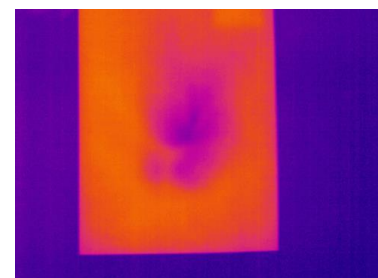
Termograma 256



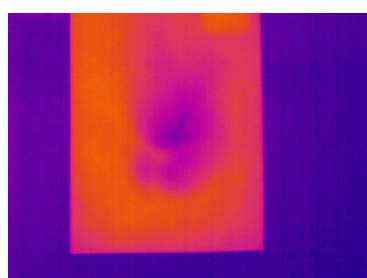
Termograma 257



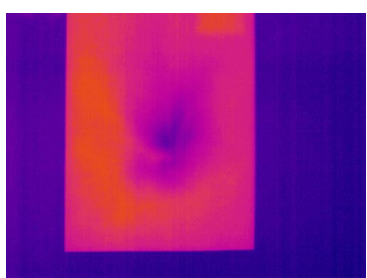
Termograma 258



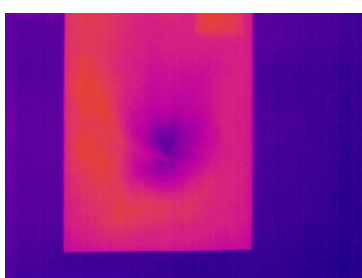
Termograma 259



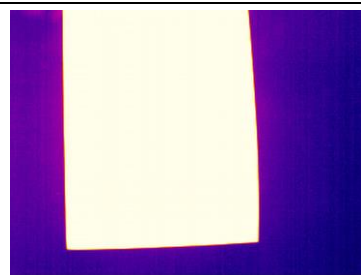
Termograma 260



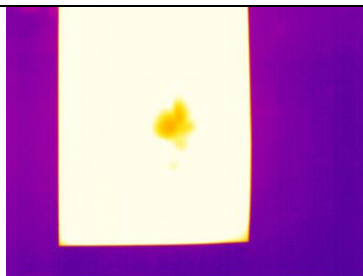
Termograma 261



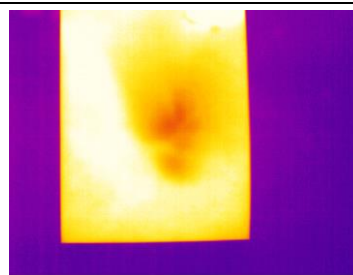
Termograma 262



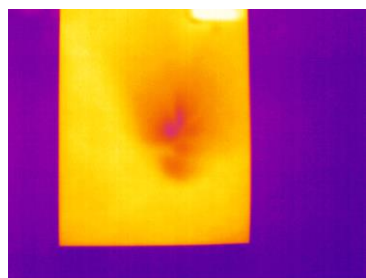
Termograma 263



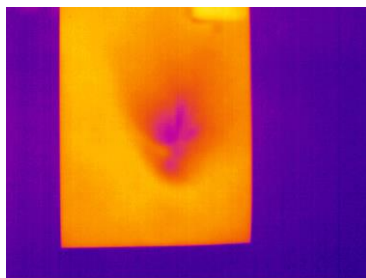
Termograma 264



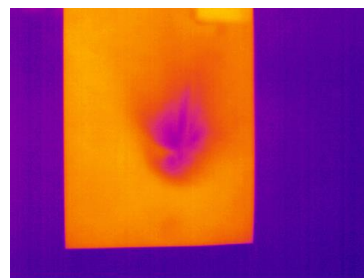
Termograma 265



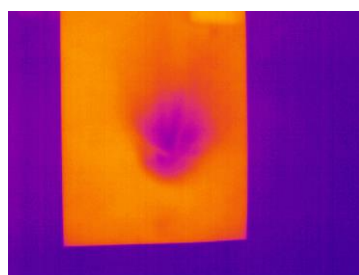
Termograma 266



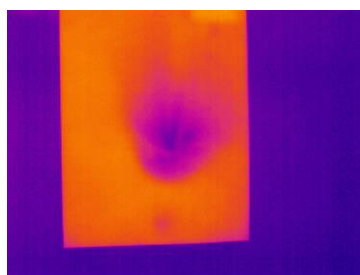
Termograma 267



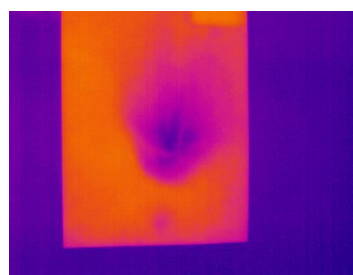
Termograma 268



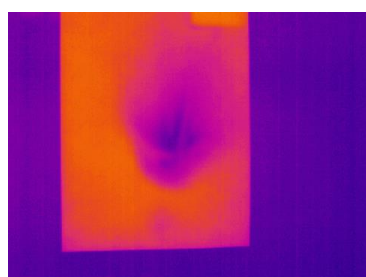
Termograma 269



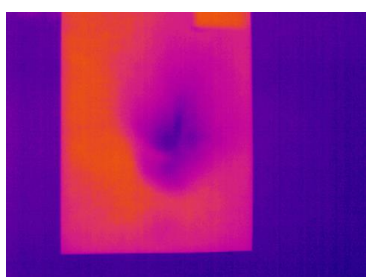
Termograma 270



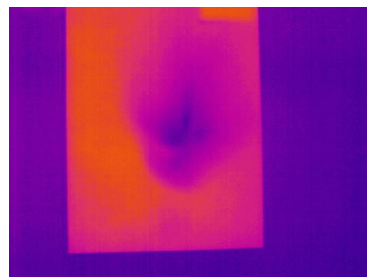
Termograma 271



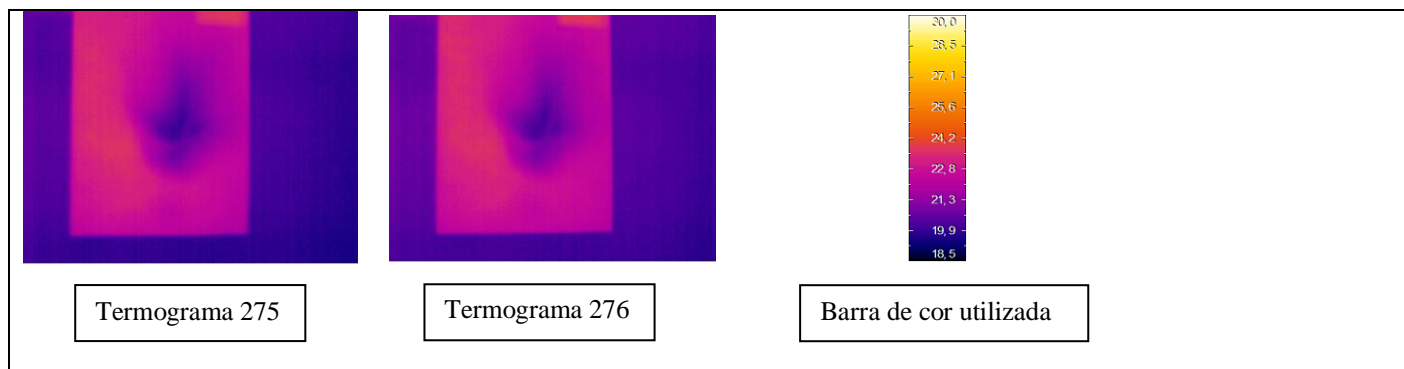
Termograma 272



Termograma 273



Termograma 274



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLsa	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 16:10
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,5	44,9	25,4	33,6	2,3	257,6

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

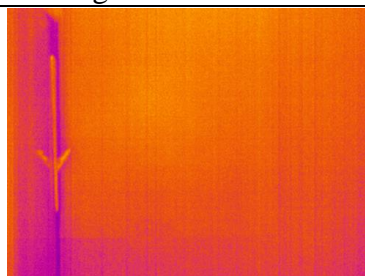
A figura seguinte demonstra o ponto onde foi avaliada a velocidade e a temperatura do ar que entrava pela frincha em questão:



Resultados

ΔP	Termograma	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	278	-	-
37	279	0,82	23,9
83	280 e 281	1,50	23,0
156	282 e 283	2,88	23,3
205	284 e 285	3,13	22,6

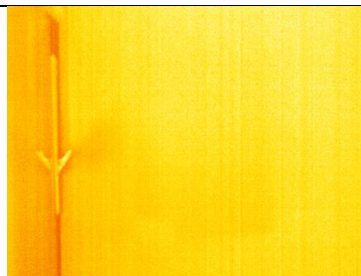
Termogramas



Termograma 278



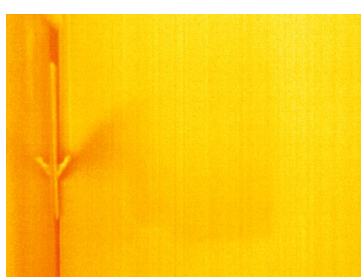
Termograma 279



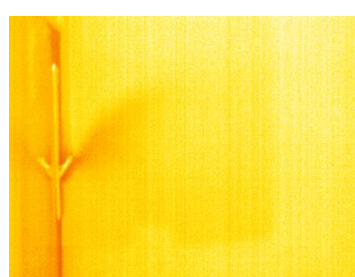
Termograma 280



Termograma 281



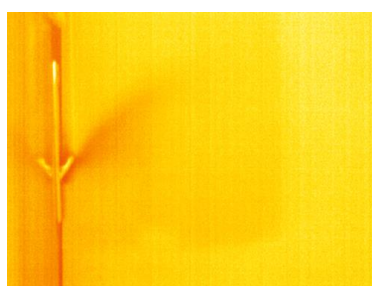
Termograma 282



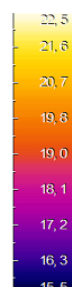
Termograma 283



Termograma 284



Termograma 285



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLca	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 16:20
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,5	45,1	25,6	33,2	2,1	190,2

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

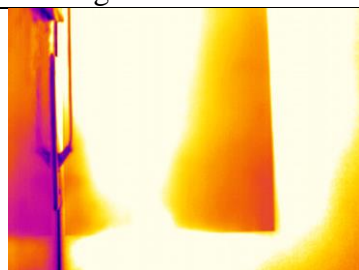
A figura seguinte demonstra o ponto onde foi avaliada a velocidade e a temperatura do ar que entrava pela frincha em questão:



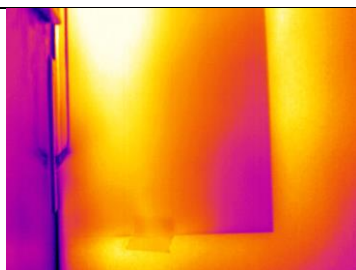
Resultados

ΔP	Termograma	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	286 e 287	-	-
205	288 até 300	3,40	22,6

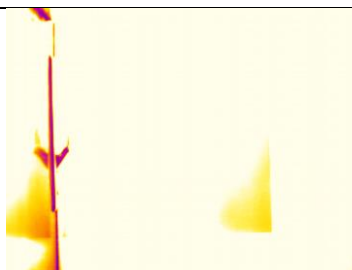
Termogramas



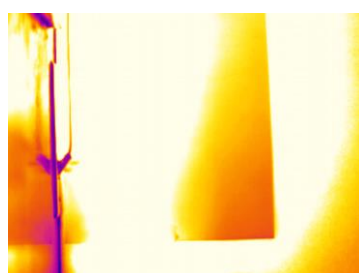
Termograma 286



Termograma 287



Termograma 288



Termograma 289



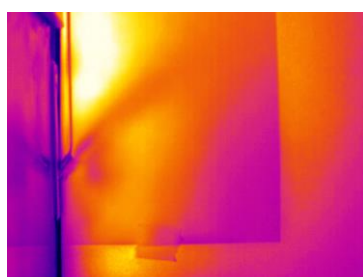
Termograma 290



Termograma 291



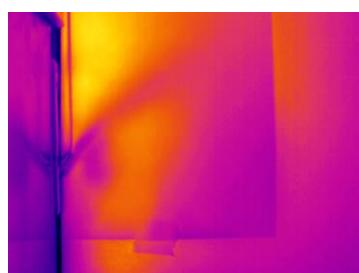
Termograma 292



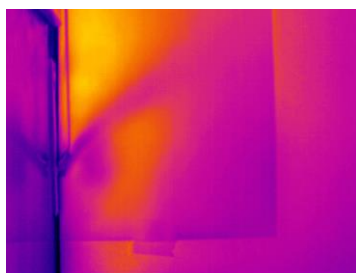
Termograma 293



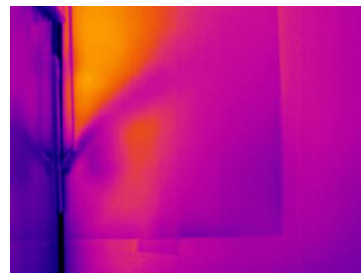
Termograma 294



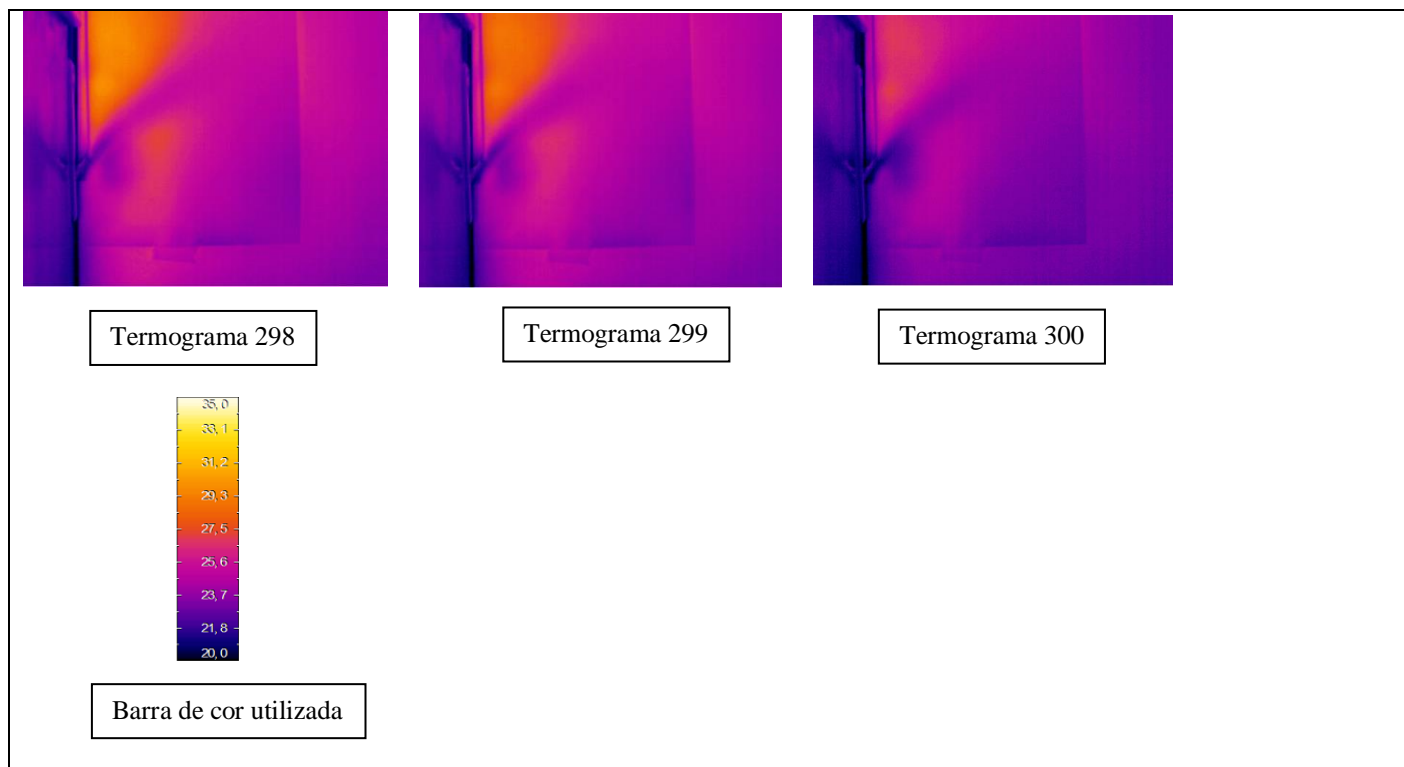
Termograma 295



Termograma 296



Termograma 297



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFsa	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 15:20
---	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20,4	73,6	14,6	100	1,6	179,7

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal sem aquecimento da mesma.

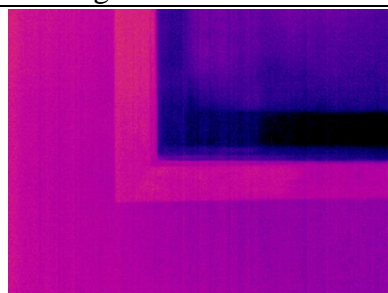
Resultados

ΔP	Term.E	Term.R	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	1	992	-	-	-	-
34	2	993	1,13	19,1	0,10	18,9
82	3	994	1,92	18,9	0,12	19,1
180	4	995	2,30	18,7	0,23	19,1

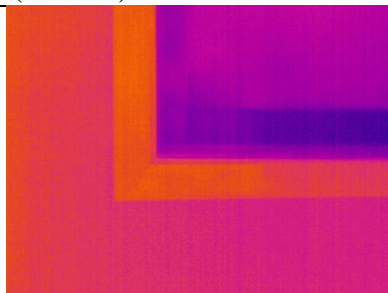
Observações

Deixou-se de medir a velocidade nos pontos 1 e 2 uma vez que se concluiu que eram desprezáveis.

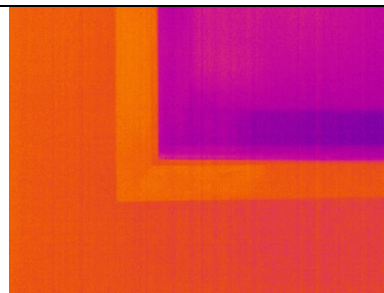
Termogramas – Thermo Tracer (Term.E)



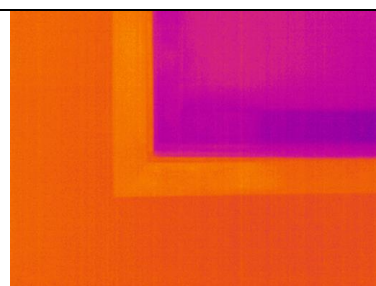
Termograma 1



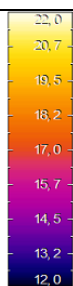
Termograma 2



Termograma 3

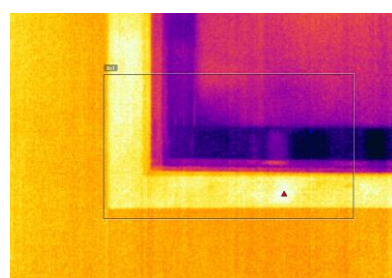


Termograma 4

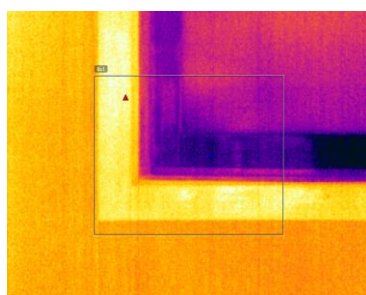


Barra de cor utilizada

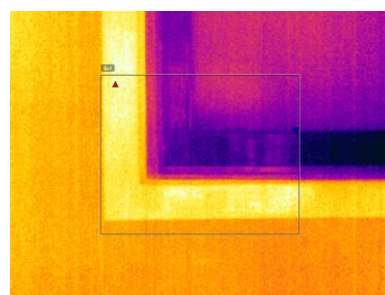
Termogramas – Flir (Term.R)



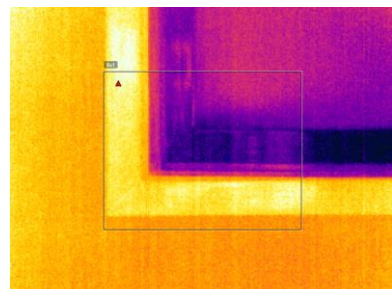
Termograma 992



Termograma 993



Termograma 994



Termograma 995



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFca	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 15:30
---	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21	72,9	14,5	100	1,5	169,6

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com aquecimento a mesma.

Resultados

ΔP	Term.E	Term.R	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	5	996	-	-	-	-
34	6	997	3,60	20,6	0,5	21,3
85	7	998	3,80	20,2	0,18	20,6
175	8	999	2,80	19,3	0,25	19,6
225	9	1000	-	-	-	-
0	10 até 12	1001 até 1005	-	-	-	-

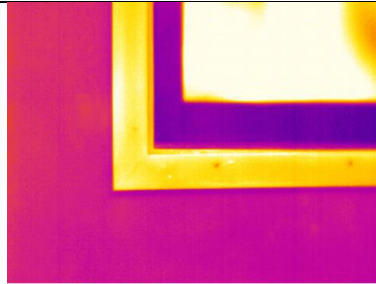
Repetiu-se o ensaio:

ΔP	Term.E	Term.R	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	-	-	-	-	-	-
34	-	-	1,13	19,1	0,10	18,9
82	-	-	1,92	18,9	0,12	19,1
180	-	-	2,30	18,7	0,23	19,1
225	-	-	2,40	18,6	0,30	19,3
0	-	-	-	-	-	-

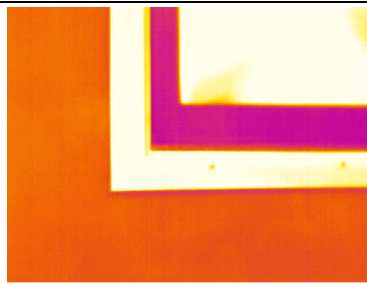
Observações

Deixou-se de medir a velocidade nos pontos 1 e 2 uma vez que se concluiu que eram desprezáveis.

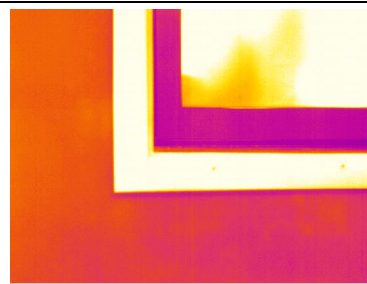
Termogramas – Thermo Tracer (Term.E)



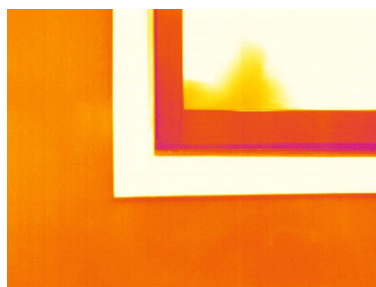
Termograma 5



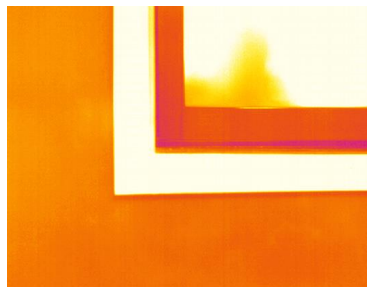
Termograma 6



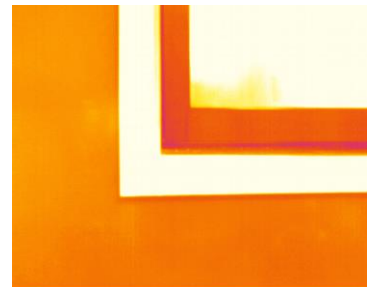
Termograma 7



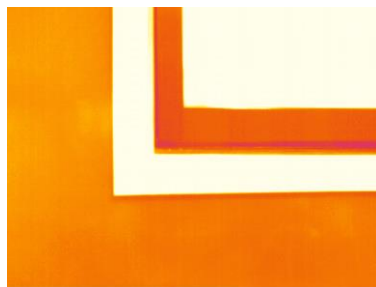
Termograma 8



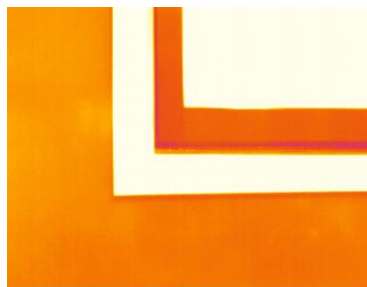
Termograma 9



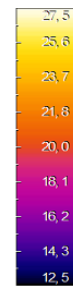
Termograma 10



Termograma 11

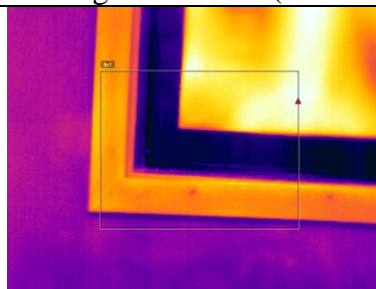


Termograma 12

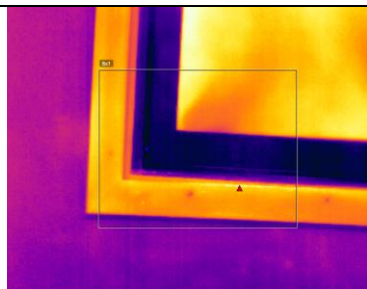


Barra de cor utilizada

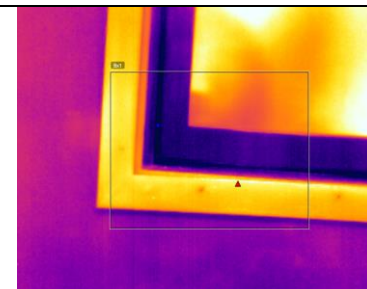
Termogramas – Flir (Term.R)



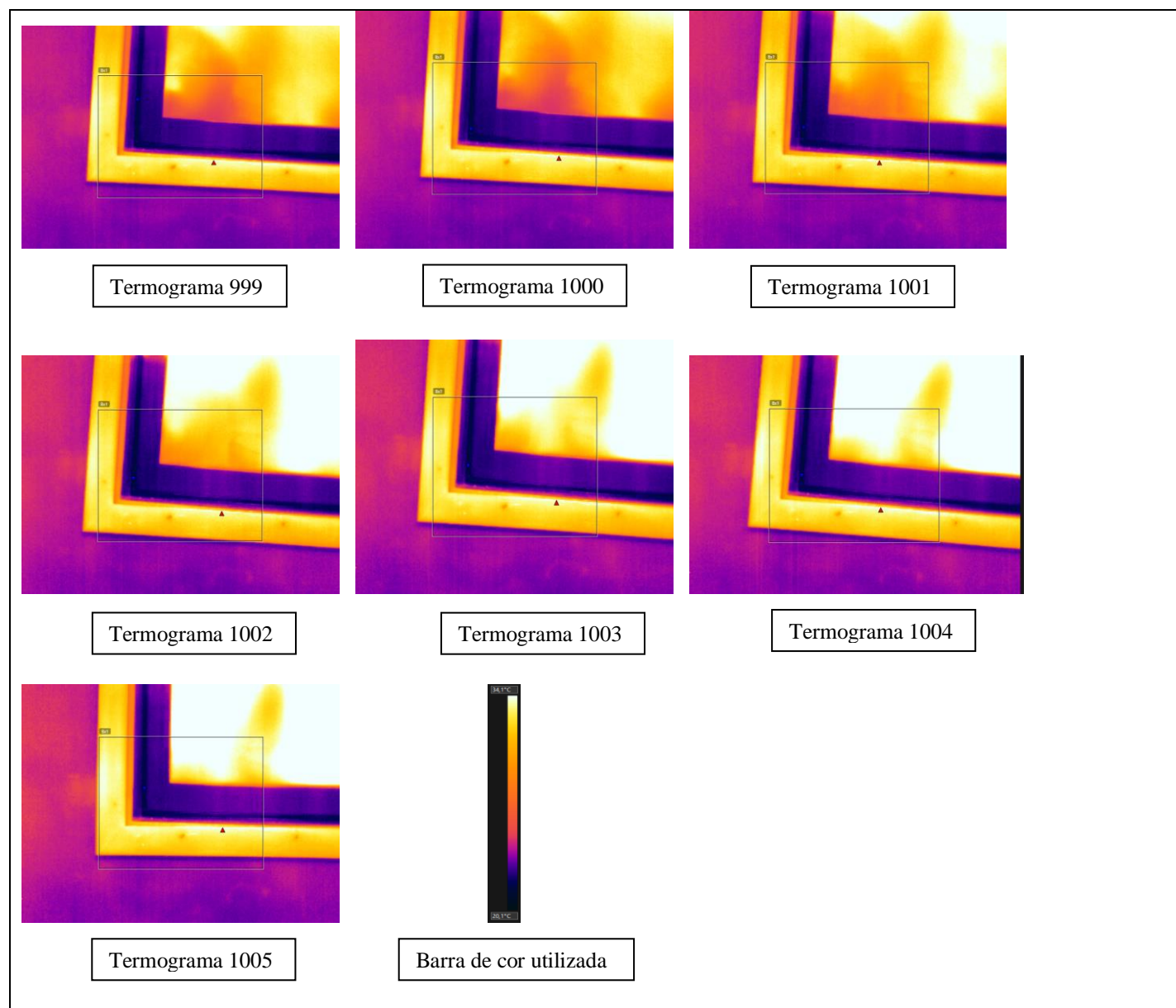
Termograma 996



Termograma 997



Termograma 998



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JLsa	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 16:00
---	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21	69,1	14,3	100	1,6	169,8

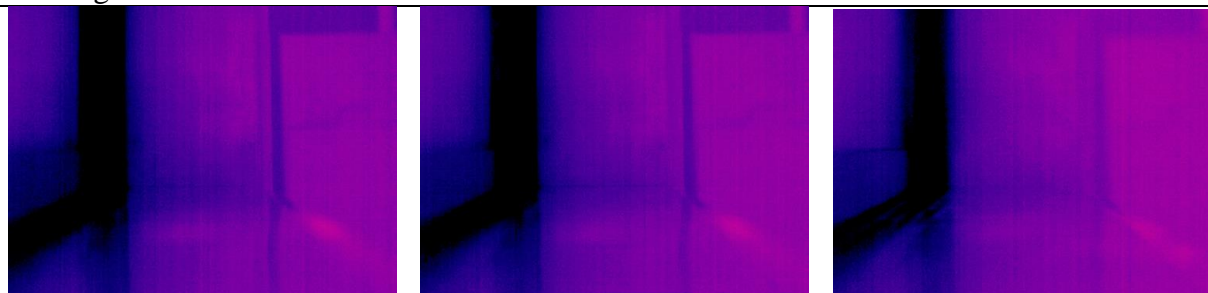
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista lateral sem aquecimento da mesma.

Resultados

ΔP	Term.E	Vpto5 (m/s)	Tpto5 (C°)	Vpto6 (m/s)	Tpto6 (C°)
0	13	-	-	0	-
43	14 e 15	-	-	0,8	-

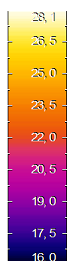
Termogramas



Termograma 13

Termograma 14

Termograma 15



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JLcac	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 16:15
--	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,4	63,1	14,2	100	1,5	169

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista lateral com utilização de cartolina preta e, posteriormente, de cartolina branca.

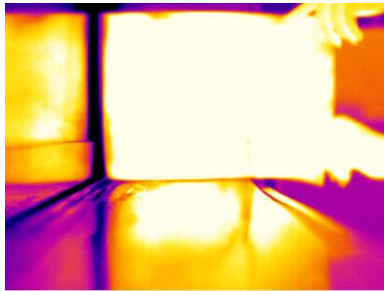
Resultados

ΔP	Term.E	Term.R
172	16 até 22	-
0	-	1006
172	24 até 29	1007 até 1011

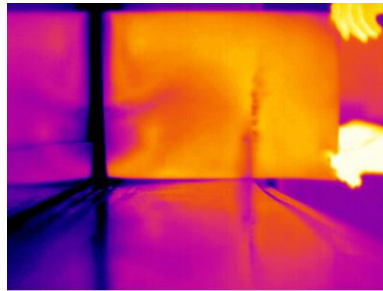
Observações

Deixou-se de medir as velocidades nos pontos 5, 6 e 7 uma vez que se consideraram desprezáveis.

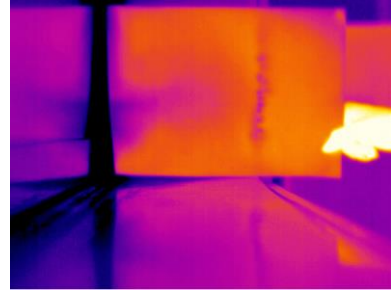
Termogramas – Thermo Tracer (Term.E)



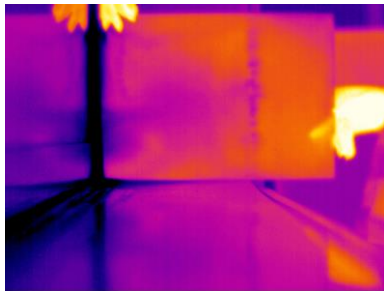
Termograma 16



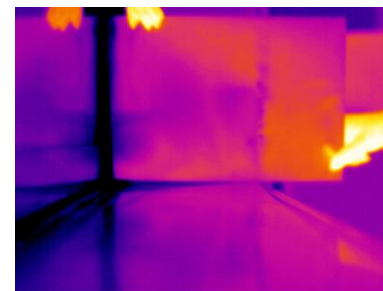
Termograma 17



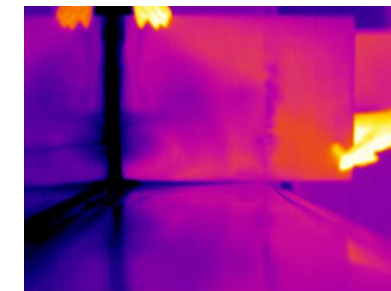
Termograma 18



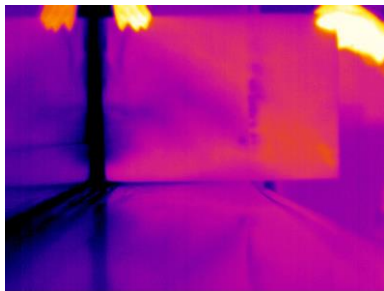
Termograma 19



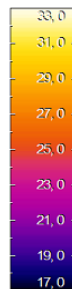
Termograma 20



Termograma 21



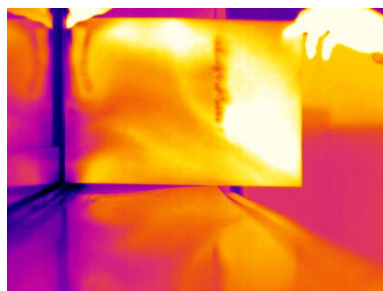
Termograma 22



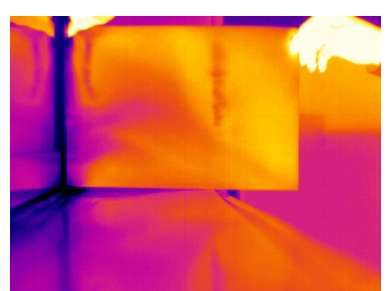
Barra de cor utilizada



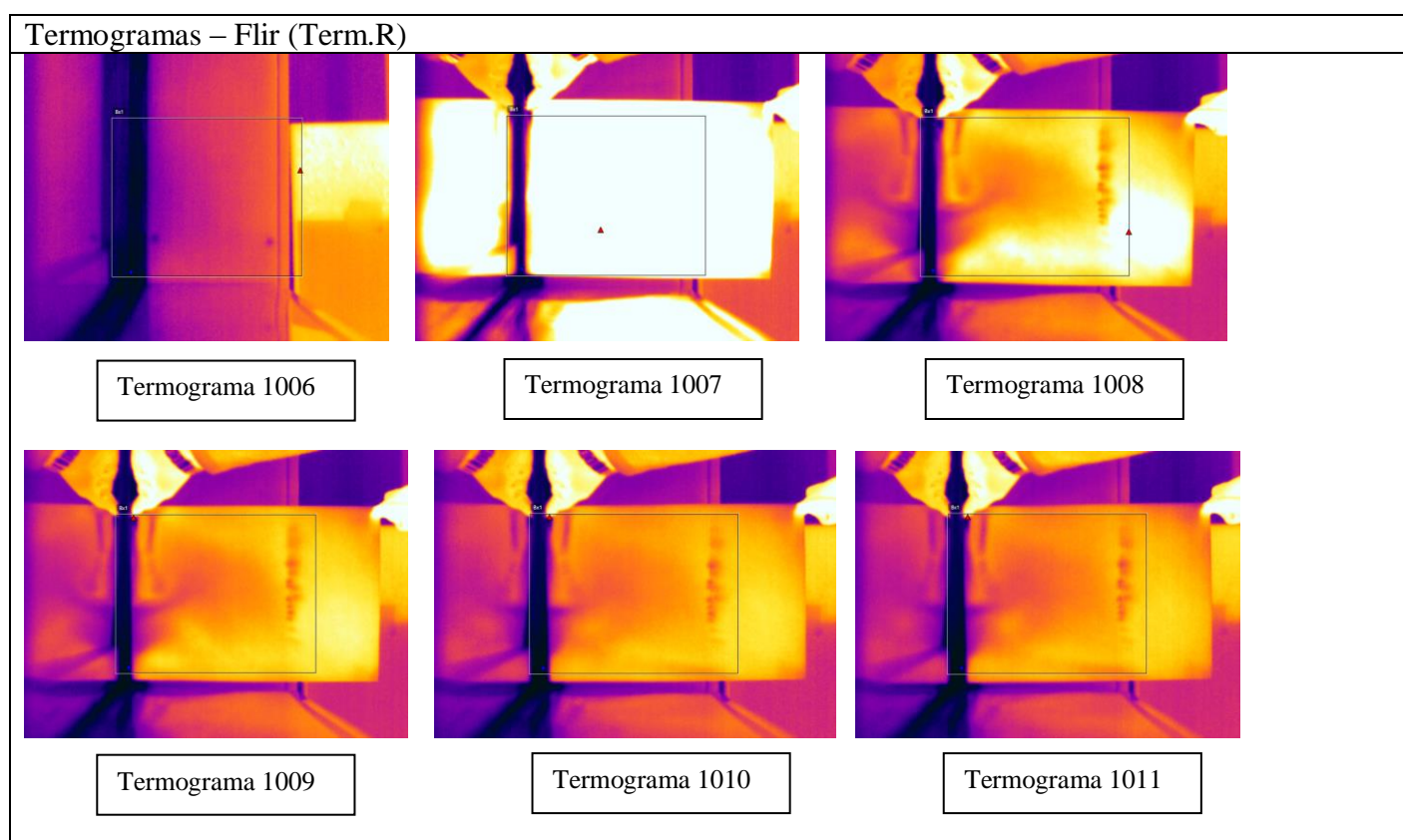
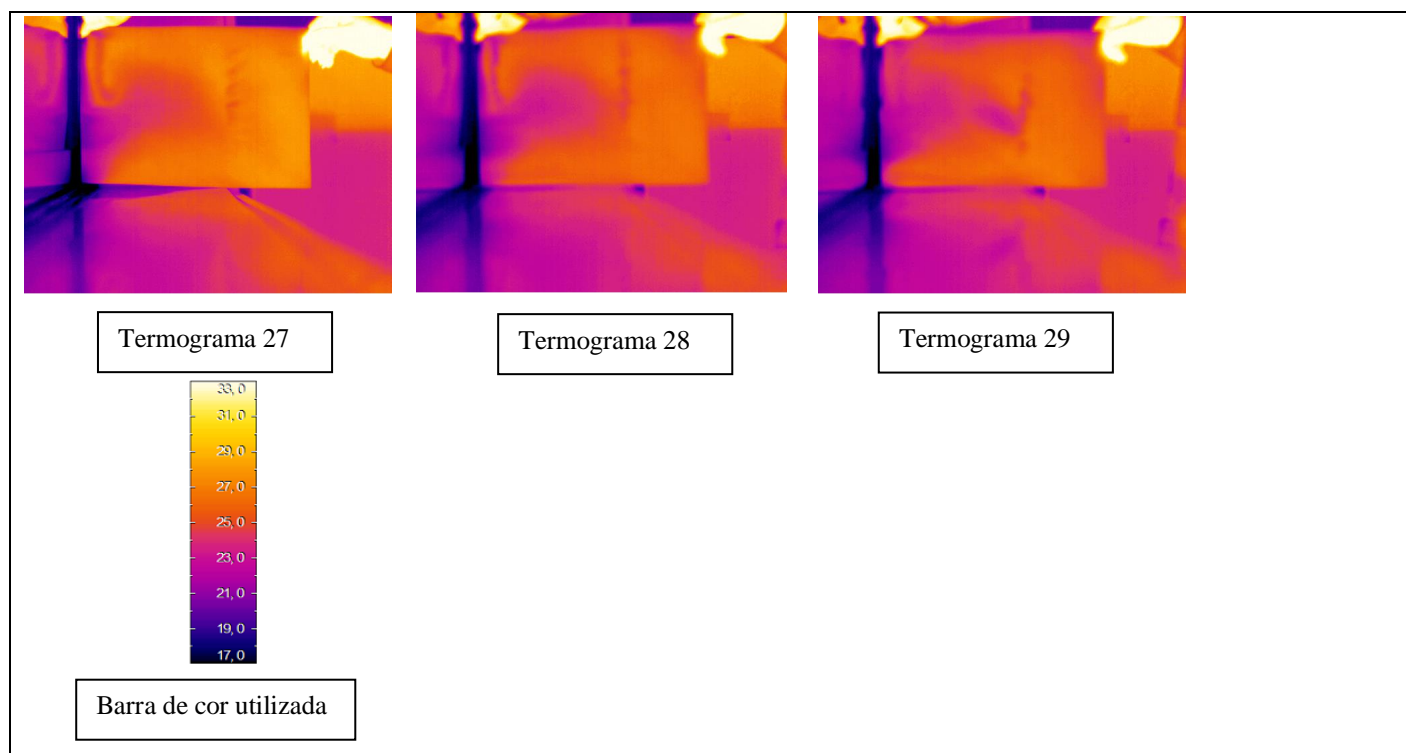
Termograma 24



Termograma 25



Termograma 26



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFsa	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 16:30
---	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,8	60,4	14,1	100	1,4	158

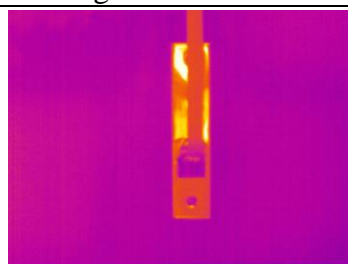
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal sem aquecimento.

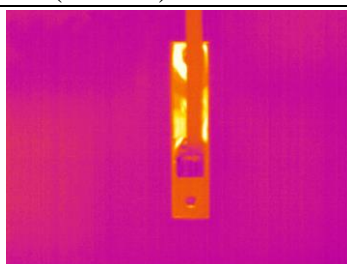
Resultados

ΔP	Term.E	Term.R	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	31	1012	-	-
38	32	1013	0,80	22,8
86	33	1014	1,85	21,3
168	34	1015	2,70	20,5

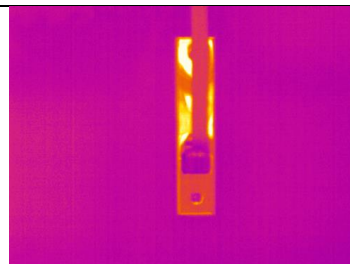
Termogramas – Thermo Tracer (Term.E)



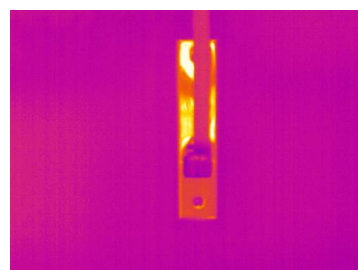
Termograma 31



Termograma 32



Termograma 33



Termograma 34

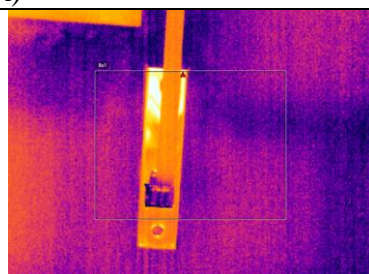


Barra de cor utilizada

Termogramas – Flir (Term.R)



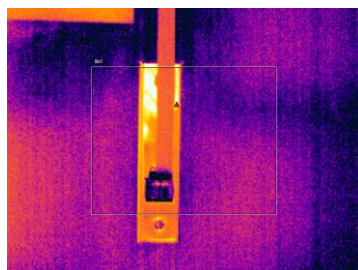
Termograma 1012



Termograma 1013



Termograma 1014



Termograma 1015



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFcac	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 16:40
--	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,9	63,1	14,2	100	1,4	145,4

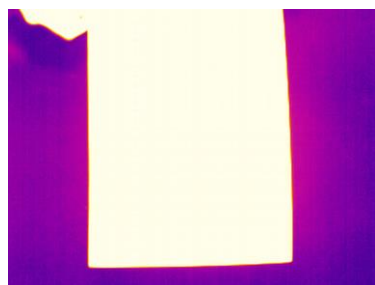
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com a utilização de uma cartolina branca previamente aquecida

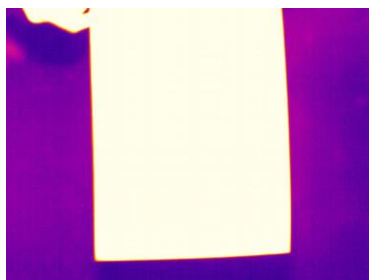
Resultados

ΔP	Term.E	Term.R	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
78	35 até 43	1016 até 1023	1,85	21,3
170	45 até 49	-	2,70	20,5

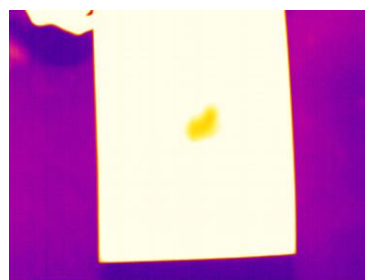
Termogramas – Thermo Tracer (Term.E)



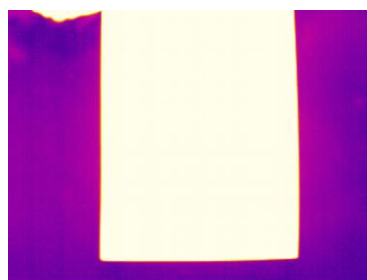
Termograma 35



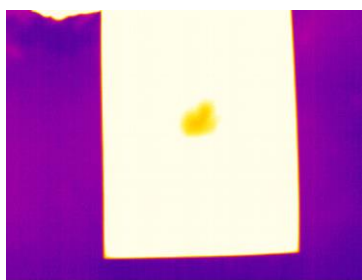
Termograma 36



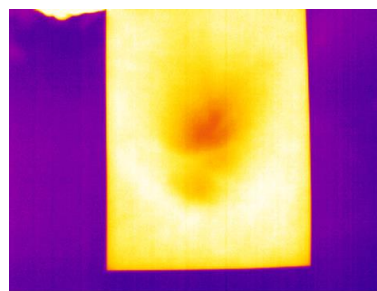
Termograma 37



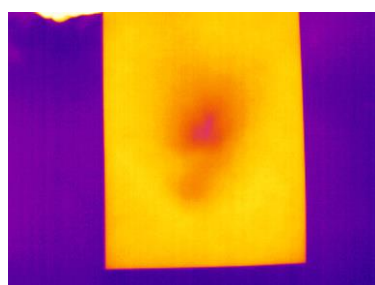
Termograma 38



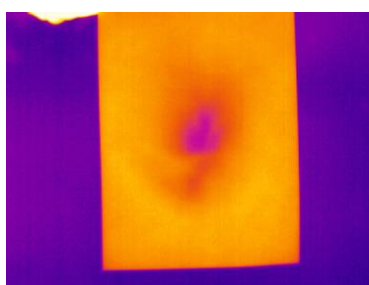
Termograma 39



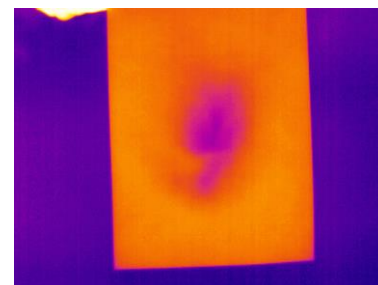
Termograma 40



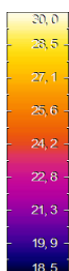
Termograma 41



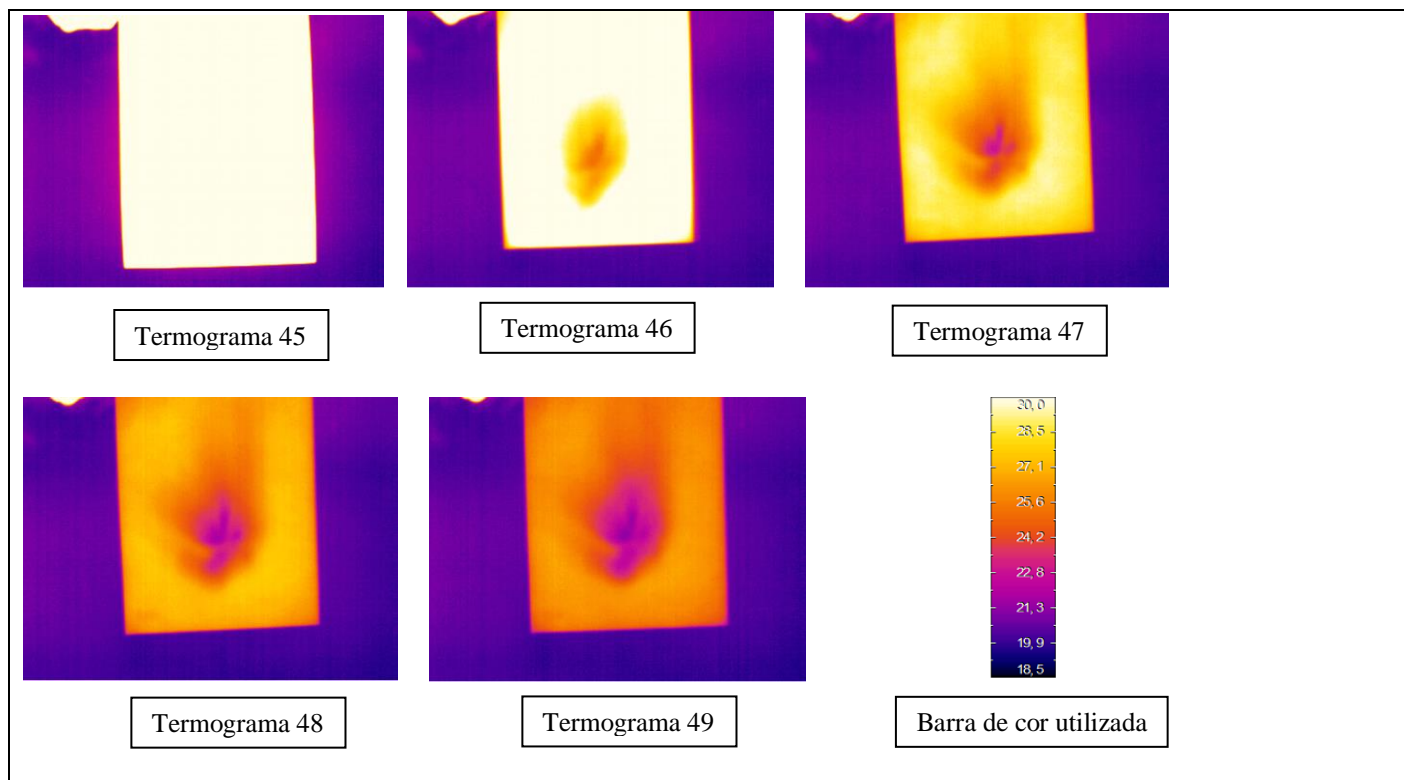
Termograma 42



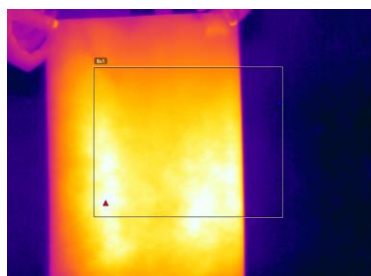
Termograma 43



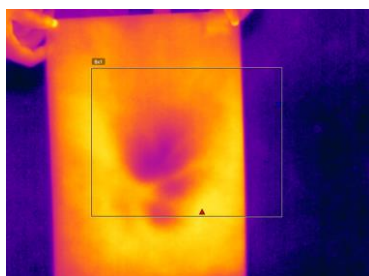
Barra de cor utilizada



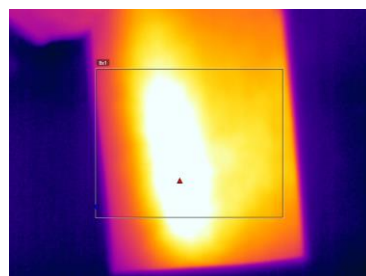
Termogramas – Flir (Term.R)



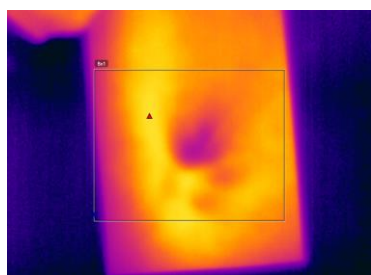
Termograma 1016



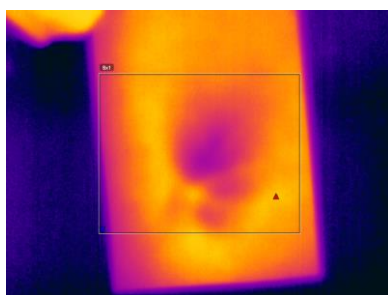
Termograma 1017



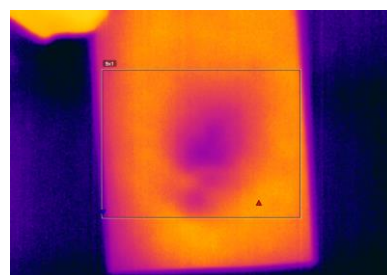
Termograma 1018



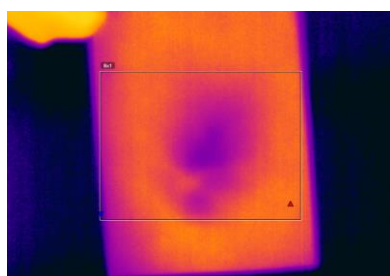
Termograma 1019



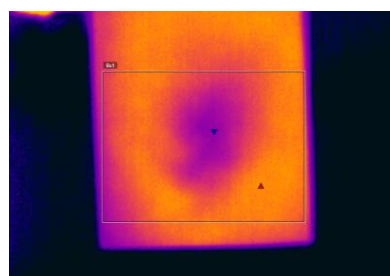
Termograma 1020



Termograma 1021



Termograma 1022



Termograma 1023



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLsa	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 16:50
---	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,7	62,7	14,2	100	1,3	165,1

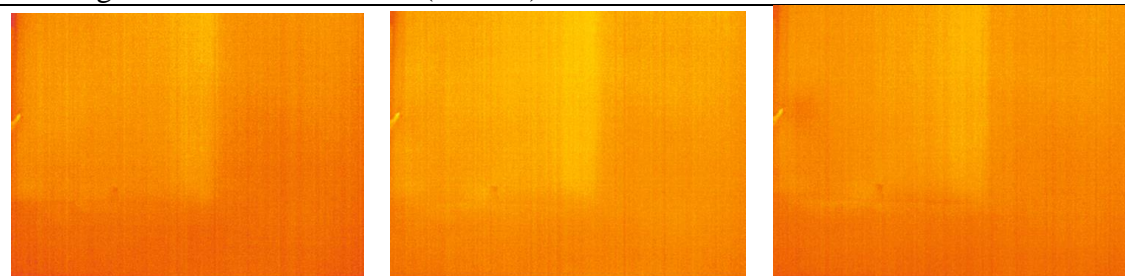
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

Resultados

ΔP	Term.E	Term.R	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	50	1025	-	-
40	51	1026	0,80	22,8
87	52	1027	1,85	21,3
164	53	1028	2,70	20,5
210	54	1029	2,76	20

Termogramas – Thermo Tracer (Term.E)



Termograma 50

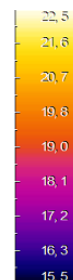
Termograma 51

Termograma 52

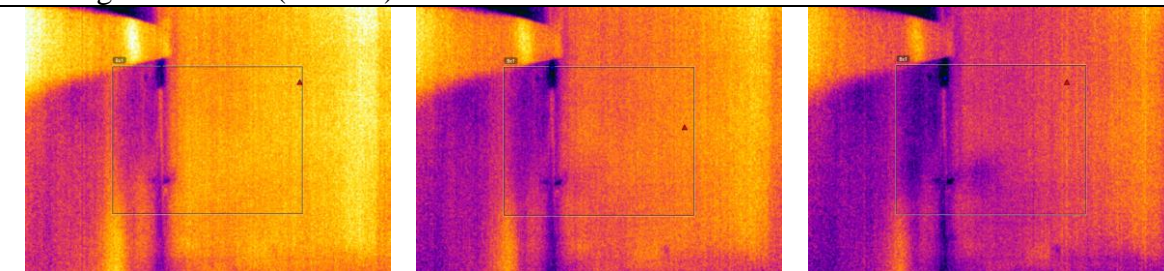
Termograma 53

Termograma 54

Barra de cor utilizada



Termogramas – Flir (Term.R)



Termograma 1025

Termograma 1026

Termograma 1027

Termograma 1028

Termograma 1029

Barra de cor utilizada



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLca	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 17:00
---	----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,2	63,6	14,3	100	1,3	167,6

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

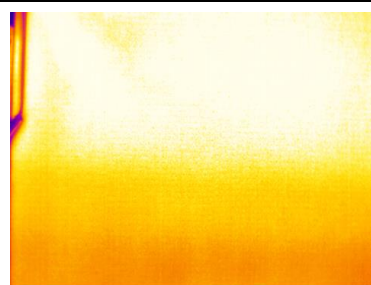
Resultados

ΔP	Term.E	Term.R	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	55	1030	-	-
40	56	1031	0,80	22,8
85	57	1032	1,85	21,3
162	58	1033	2,70	20,5
212	59	-	2,76	20

Observações

Retirou-se a cartolina branca que estava colada no painel preto.

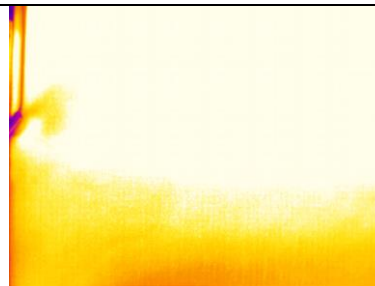
Termogramas – Thermo Tracer (Term.E)



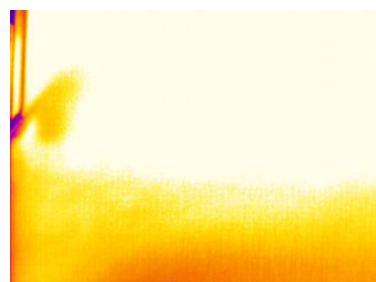
Termograma 55



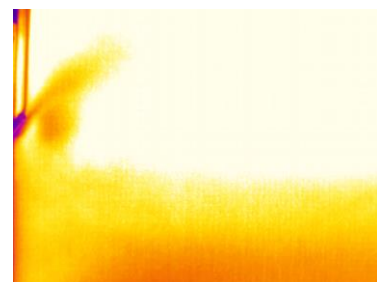
Termograma 56



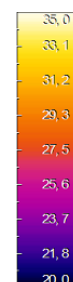
Termograma 57



Termograma 58

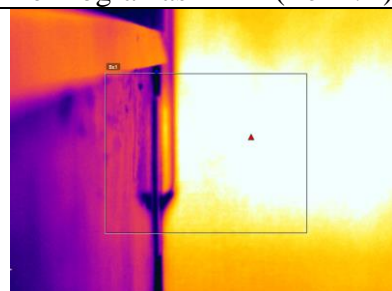


Termograma 59

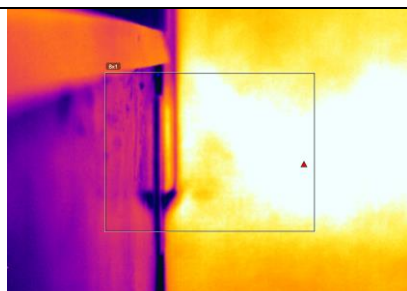


Barra de cor utilizada

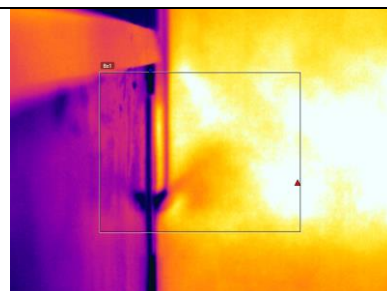
Termogramas – Flir (Term.R)



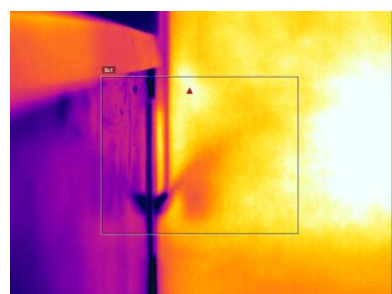
Termograma 1030



Termograma 1031



Termograma 1032



Termograma 1033



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFsa	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 14:30
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,6	79,9	20,7	69,3	1,8	212,7

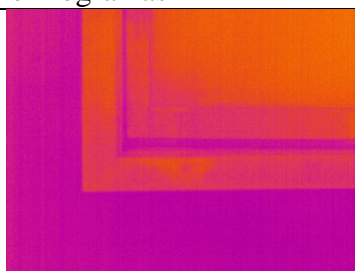
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal sem aquecimento da mesma.

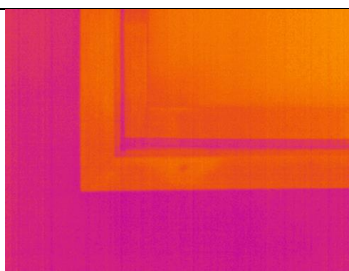
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	60 e 61	0,12	-	0	-
29	62	0,77	-	0,03	-
67	63	0,87	-	0,12	-
175	64	1,42	-	0,18	-

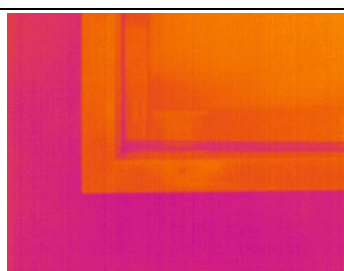
Termogramas



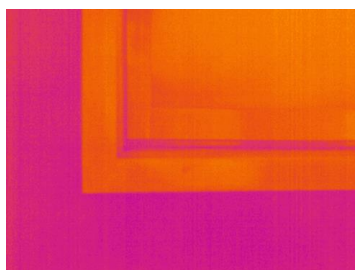
Termograma 60



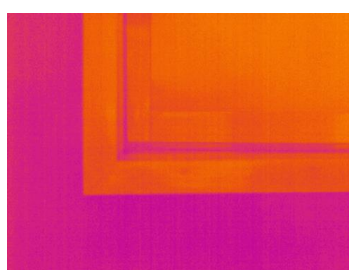
Termograma 61



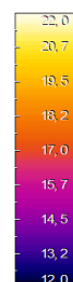
Termograma 62



Termograma 63



Termograma 64



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFca	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 14:45
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20,9	80,9	20,8	72,6	1,3	164,6

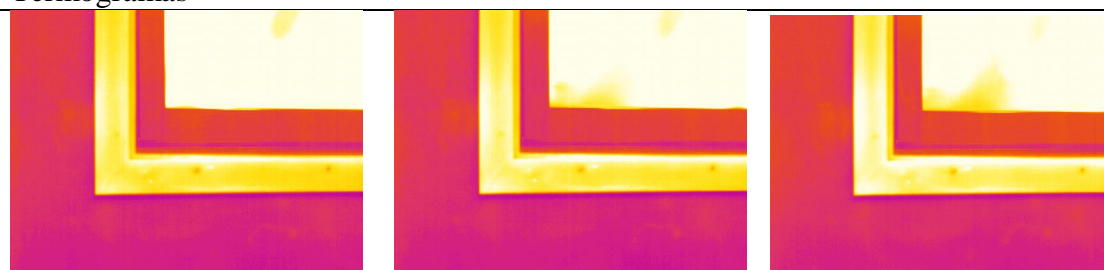
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com aquecimento a mesma.

Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	65	0,12	-	0	-
32	66	0,77	-	0,03	-
75	67	0,87	-	0,12	-
175	68	1,42	-	0,18	-
230	69	1,55	-	0,22	-

Termogramas



Termograma 65

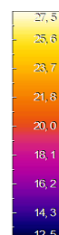
Termograma 66

Termograma 67

Termograma 68

Termograma 69

Barra de cor utilizada



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JLcac	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 15:00
--	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21,3	79,7	20,3	75,5	1,3	210,1

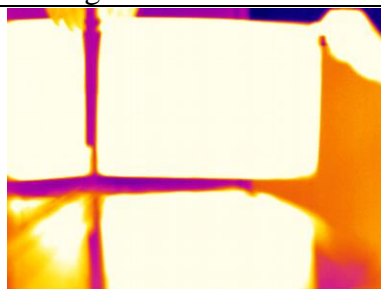
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista lateral com utilização de cartolina preta e, posteriormente, de cartolina branca.

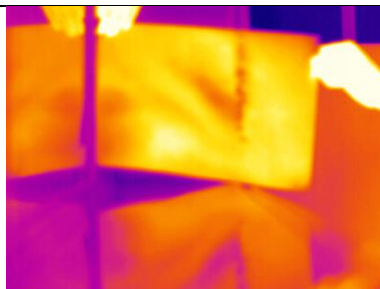
Resultados

ΔP	Termogramas	Obs.
180	73 até 76	Na medição seguinte colocou-se a cartolina preta de modo ao ar passar pela frente.
180	77 até 79	-

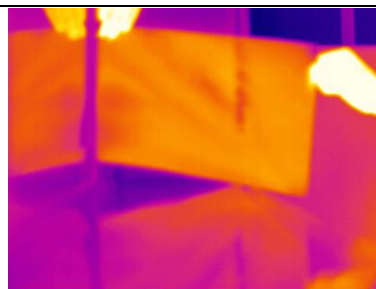
Termogramas



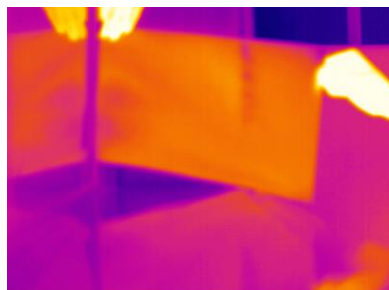
Termograma 73



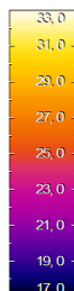
Termograma 74



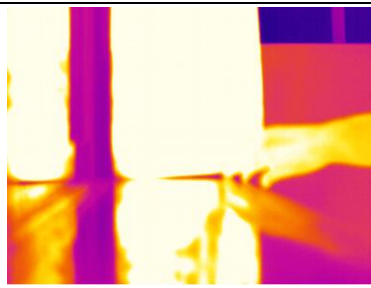
Termograma 75



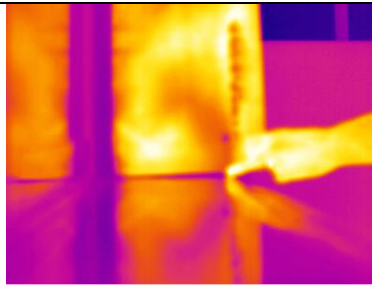
Termograma 76



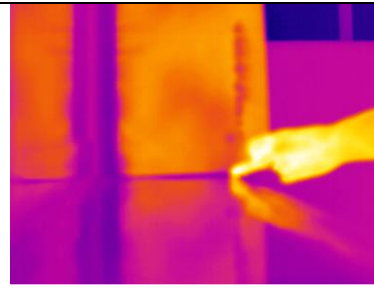
Barra de cor utilizada



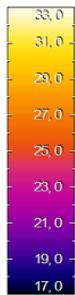
Termograma 77



Termograma 78



Termograma 79



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFsa	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 15:15
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21,8	77,5	20,2	75,9	1,4	247,3

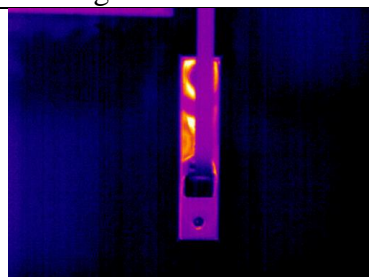
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal sem aquecimento.

Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	80	0	23
38	81	0,85	21,7
80	82	1,30	21,0
175	83	2,20	19,4

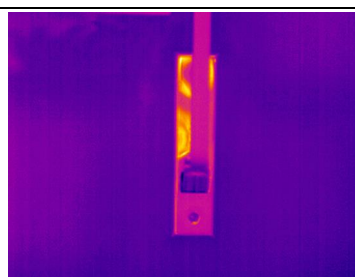
Termogramas



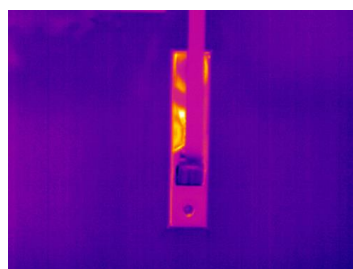
Termograma 80



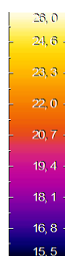
Termograma 81



Termograma 82



Termograma 83



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFcac	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 15:20
--	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21,8	77,5	20,3	76,3	1	204,3

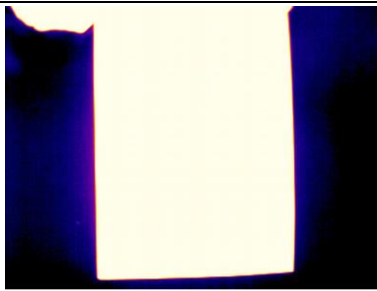
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com a utilização de uma cartolina branca previamente aquecida.

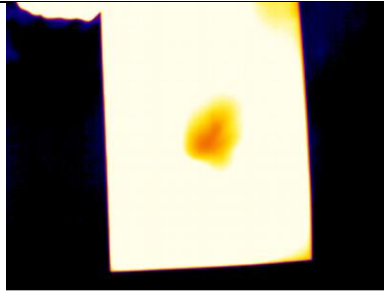
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
86	84 até 88	1,30	21,0
177	89 até 93	2,20	19,4

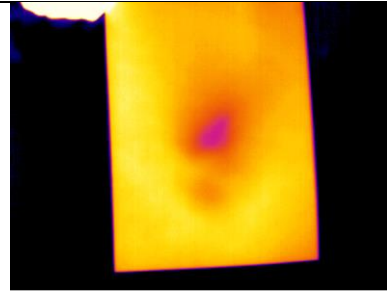
Termogramas



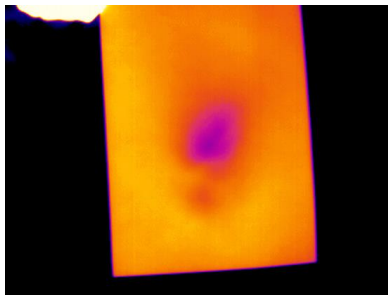
Termograma 84



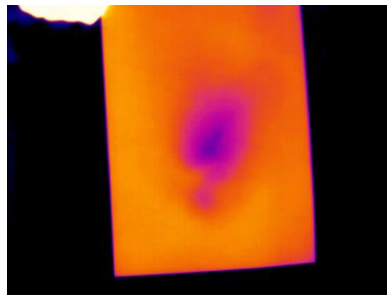
Termograma 85



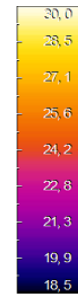
Termograma 86



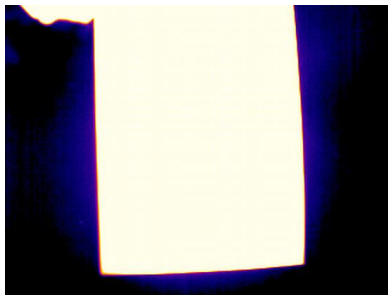
Termograma 87



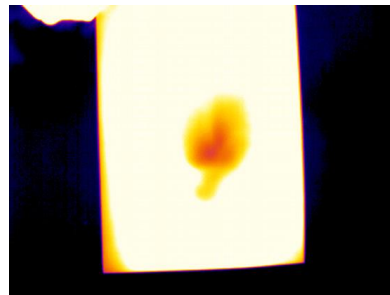
Termograma 88



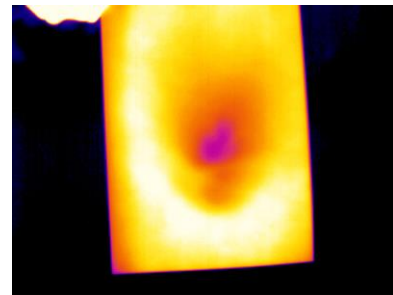
Barra de cor utilizada



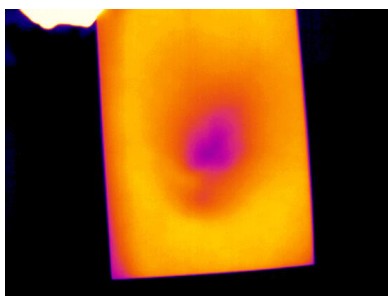
Termograma 89



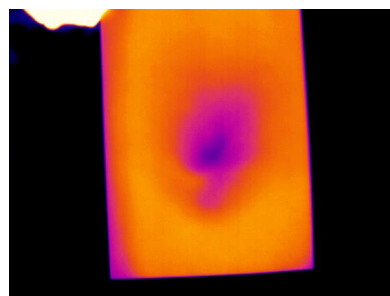
Termograma 90



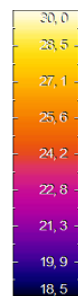
Termograma 91



Termograma 92



Termograma 93



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLsa	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 15:30
---	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,5	75,1	20,3	76	1,3	196,9

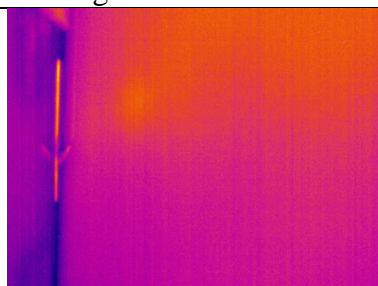
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

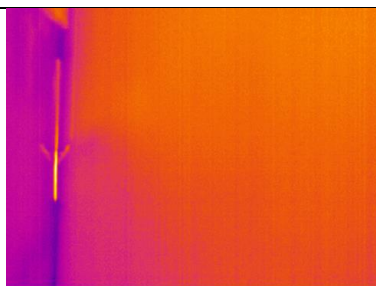
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	94	0	23
40	95	0,85	21,7
90	96 e 97	1,30	21
175	98	2,20	19,4
220	99	-	-

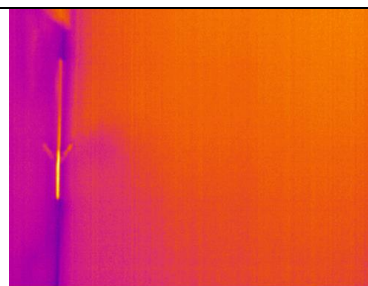
Termogramas



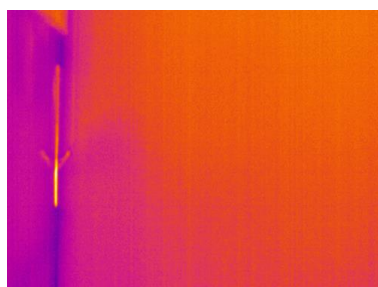
Termograma 94



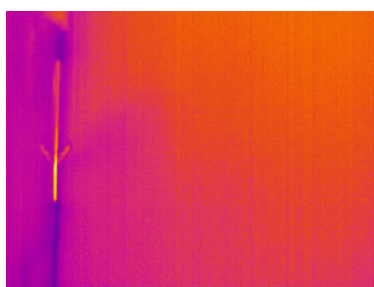
Termograma 95



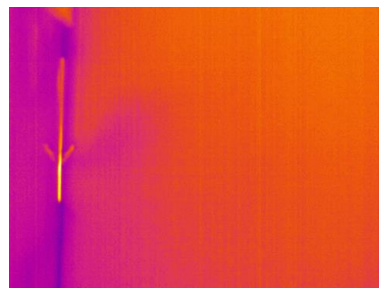
Termograma 96



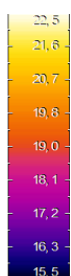
Termograma 97



Termograma 98



Termograma 99



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLca	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 15:40
---	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,3	76,5	20,4	75,2	1,1	228,8

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

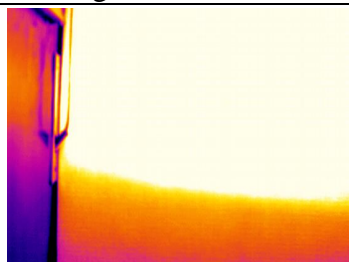
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	100	0	23
40	101	0,85	21,7
90	102	1,30	21
171	103	2,20	19,4
220	104	-	-

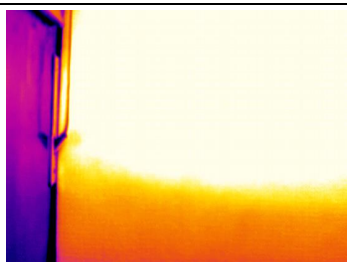
Observações

Durante a realização deste ensaio a radiação infravermelha manteve-se ligada.

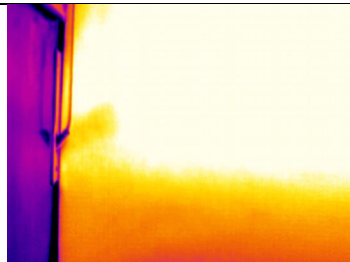
Termogramas



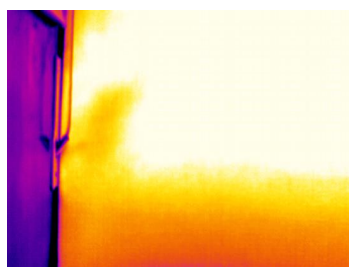
Termograma 100



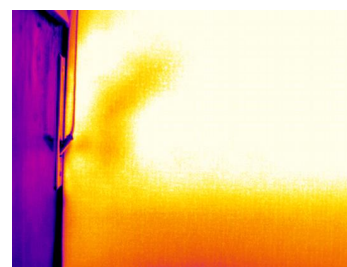
Termograma 101



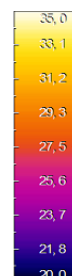
Termograma 102



Termograma 103



Termograma 104



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFsa	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 16:25
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
15,6	71,7	16,6	81,3	1,2	204,2

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com depressurização a velocidade variável com janela em vista frontal sem aquecimento da mesma.

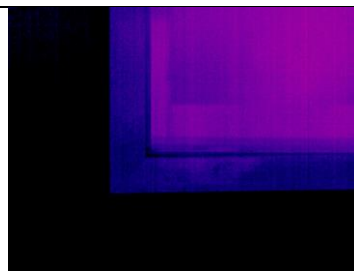
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	105	0	-	0	-
28	106	0,079	-	0,03	-
70	107	1,5	-	0,15	-
175	108	2,2	-	0,28	-

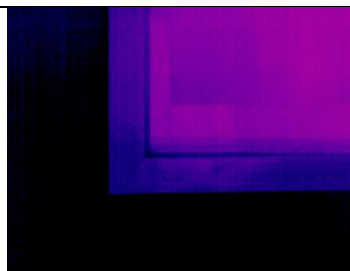
Termogramas



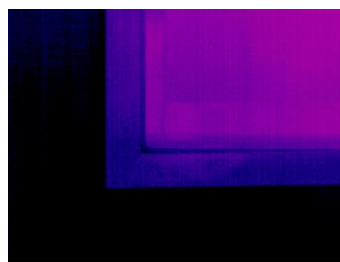
Termograma 105



Termograma 106



Termograma 107



Termograma 108



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFca	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 16:35
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
15,6	71,7	15,8	85,5	1,3	240,6

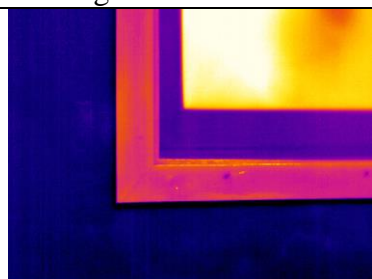
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com aquecimento a mesma.

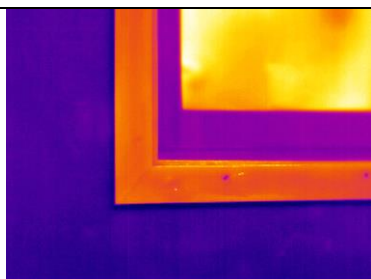
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	109	0	-	0	-
31	110	0,079	-	0,03	-
72	111	1,5	-	0,15	-
178	112	2,2	-	0,28	-
235	113	2,38	-	0,31	-
0	114	-	-	-	-
175	115	-	-	-	-

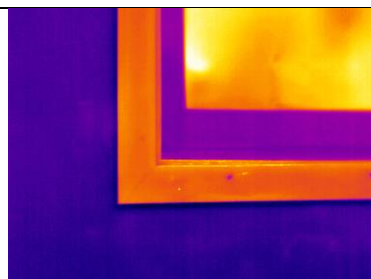
Termogramas



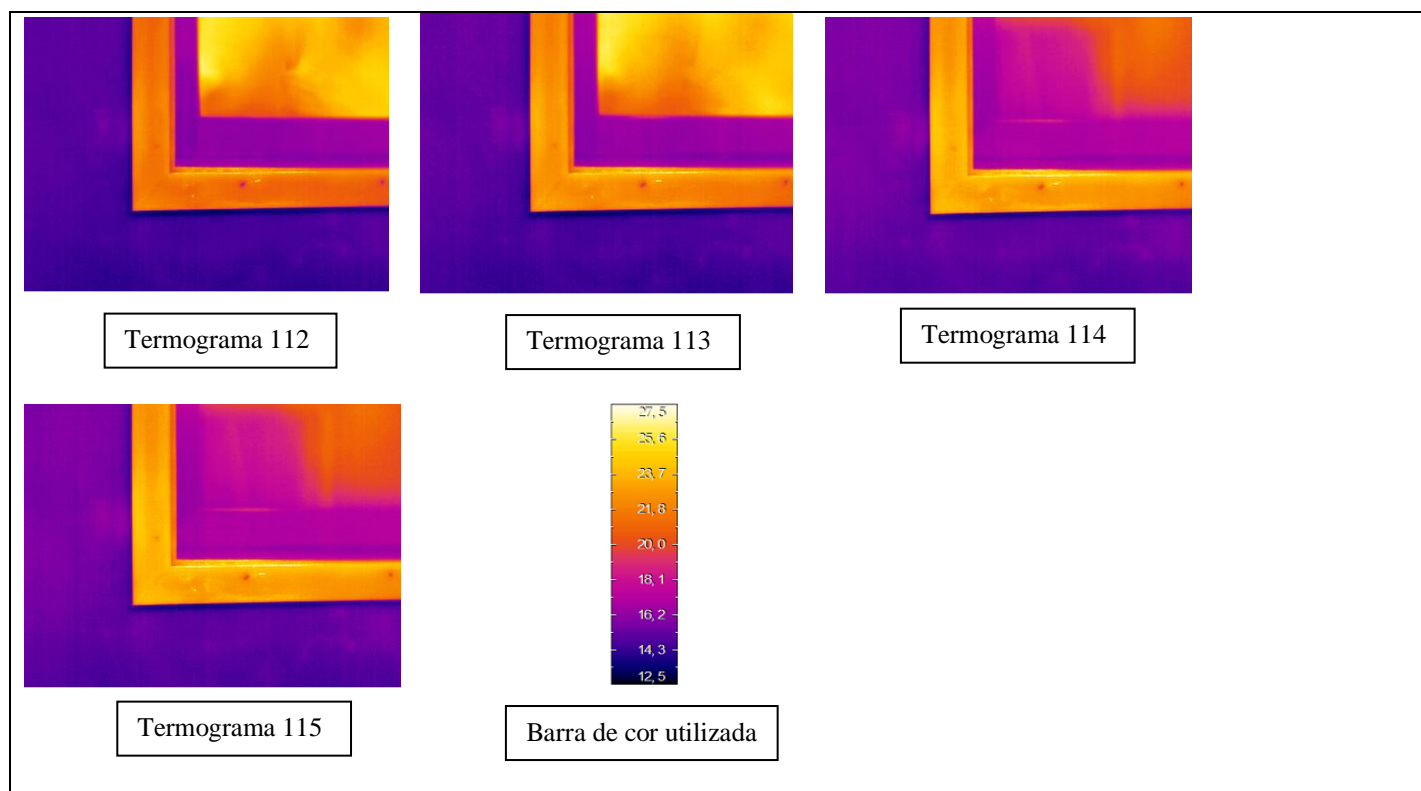
Termograma 109



Termograma 110



Termograma 111



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JLcac	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 16:45
--	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
15,6	71,7	15,5	86,8	1,1	196

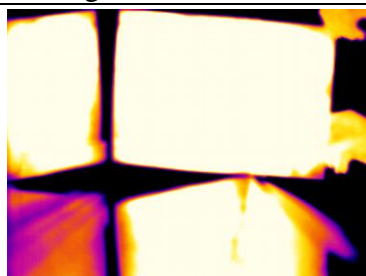
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista lateral com utilização de cartolina preta e, posteriormente, de cartolina branca.

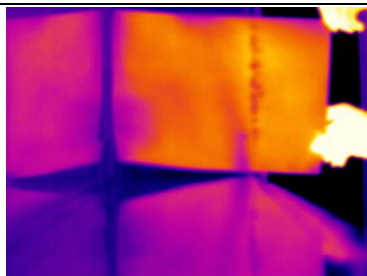
Resultados

ΔP	Termogramas
180	116 até 118

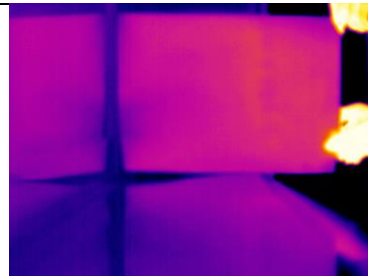
Termogramas



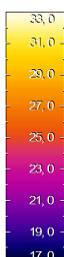
Termograma 116



Termograma 117



Termograma 118



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFcac	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 16:50
--	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
15,6	71,7	15,5	86,8	1,1	196

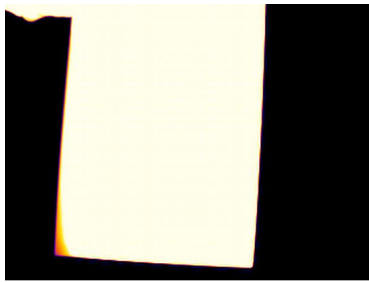
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com a utilização de uma cartolina branca previamente aquecida.

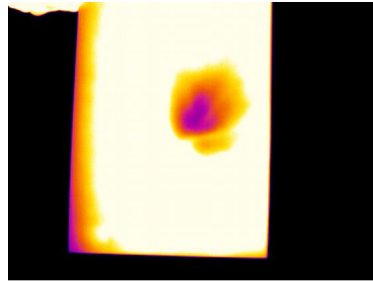
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
89	120 até 125	1,50	16,5
175	126 até 132	2,50	17,0

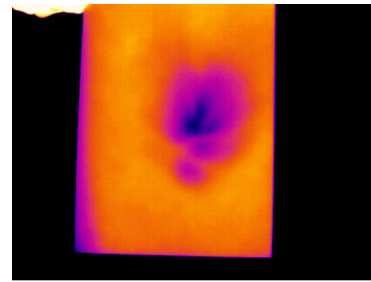
Termogramas



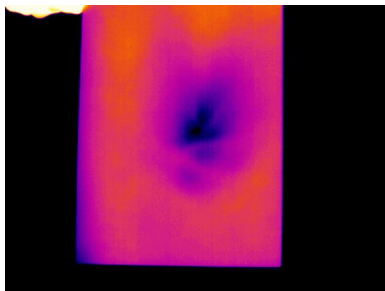
Termograma 120



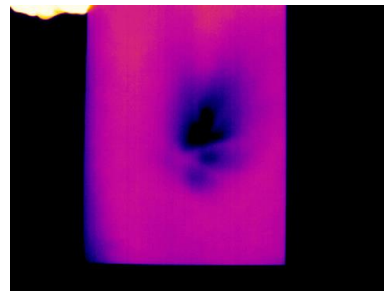
Termograma 121



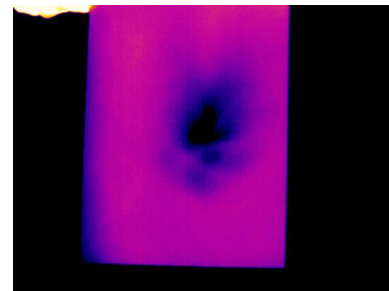
Termograma 122



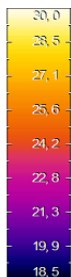
Termograma 123



Termograma 124



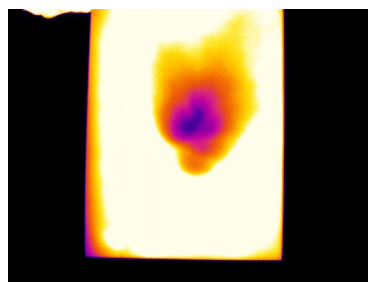
Termograma 125



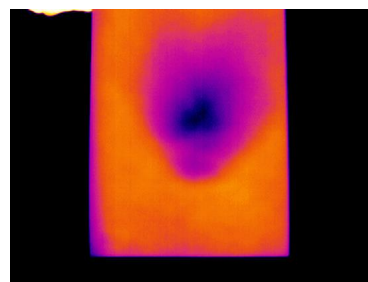
Barra de cor utilizada



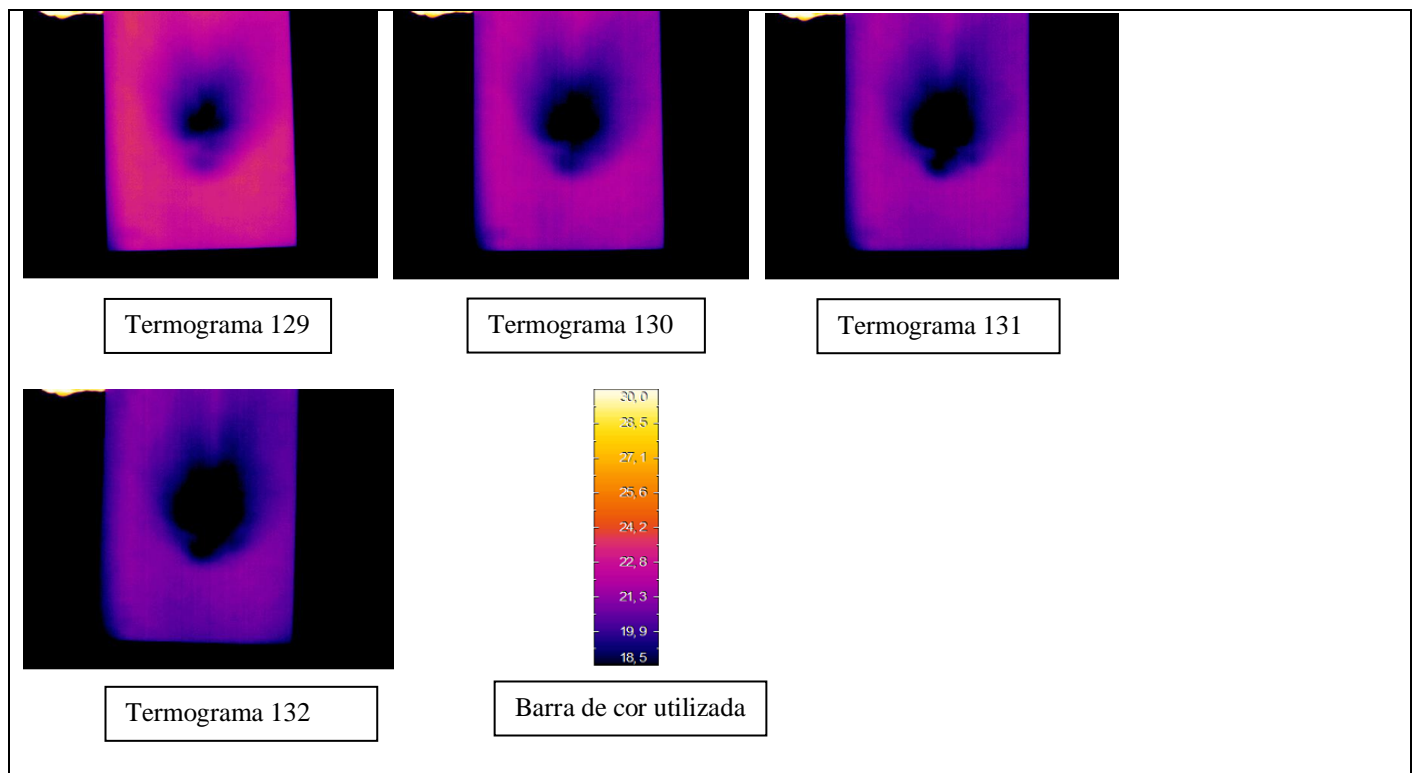
Termograma 126



Termograma 127



Termograma 128



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLsa	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 17:35
---	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21	60,7	17,2	76,6	1,3	267,4

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

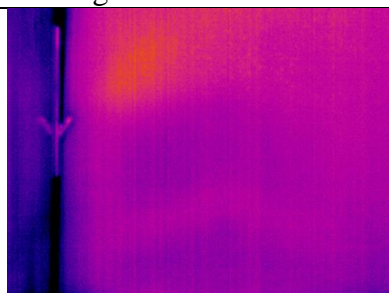
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	154	-	-
40	155	0,70	20,1
90	156	-	-
168	157	-	-
220	158	2,87	18,03

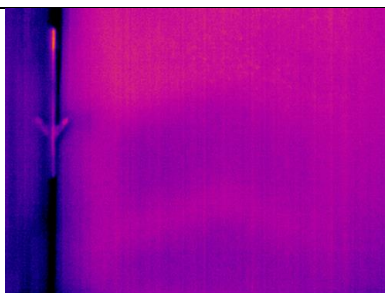
Observações

A câmara estava numa posição um pouco mais baixa que nos restantes dias de ensaio (faltou uma esferovite debaixo da câmara).

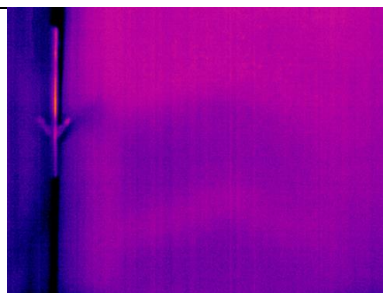
Termogramas



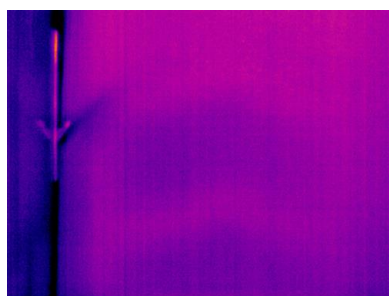
Termograma 154



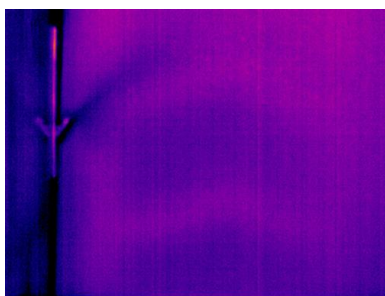
Termograma 155



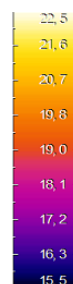
Termograma 156



Termograma 157



Termograma 158



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLca	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 17:40
---	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21,8	57	17,2	76,6	1,3	267,4

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com depressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

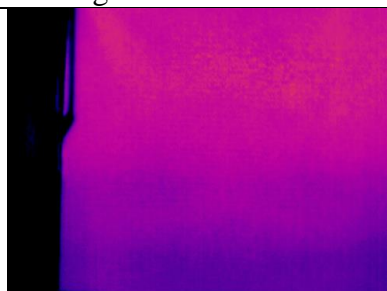
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	159	-	-
40	160	0,70	20,1
89	161	-	-
162	162	-	-
215	163	2,87	18,03

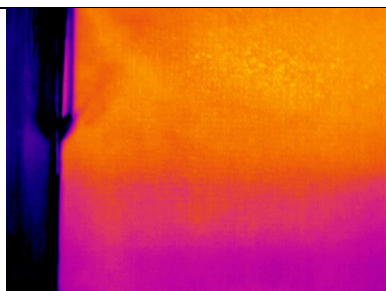
Observações

Durante a realização deste ensaio a radiação infravermelha manteve-se ligada.

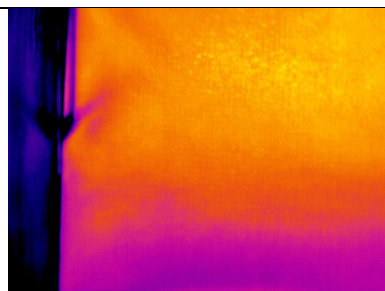
Termogramas



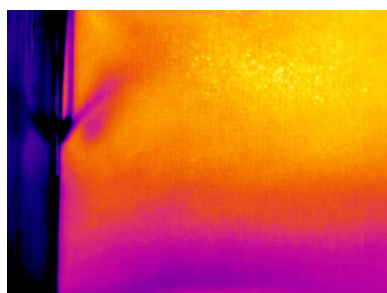
Termograma 159



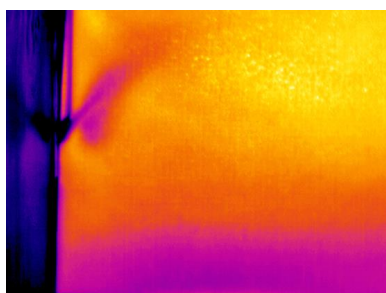
Termograma 160



Termograma 161



Termograma 162



Termograma 163



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_CFcac	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 17:15
--	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir.Vento (°)
20,6	62,4	14,7	90,8	1,1	220,7

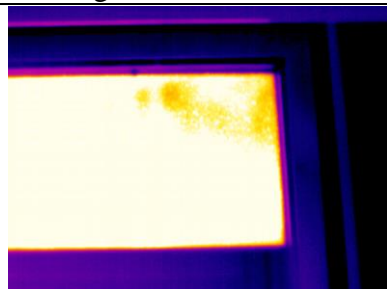
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com utilização de um painel de baixa condutibilidade previamente aquecido.

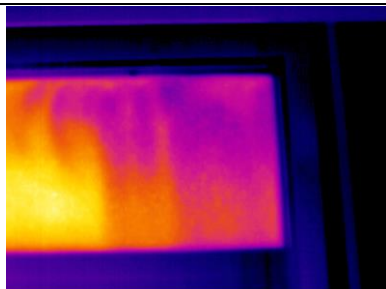
Resultados

ΔP	Termogramas
88	135 até 138
66	141 até 145
66	146 até 151
210	152

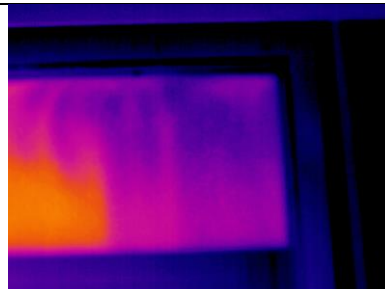
Termogramas



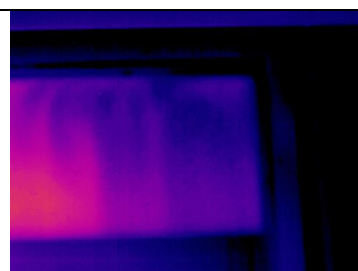
Termograma 135



Termograma 136



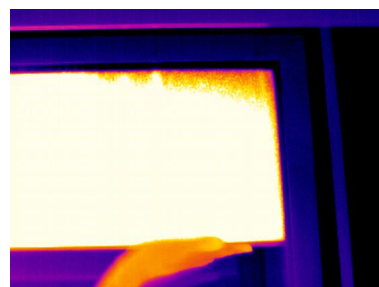
Termograma 137



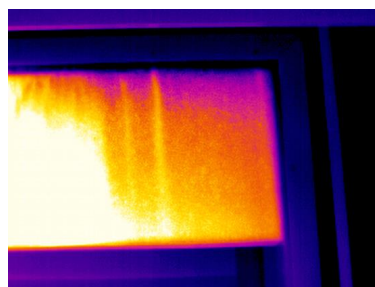
Termograma 138



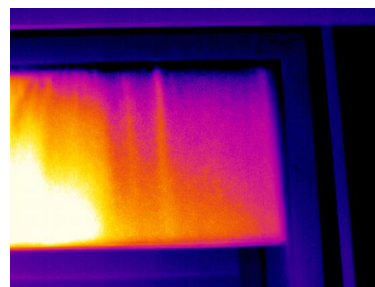
Barra de cor utilizada



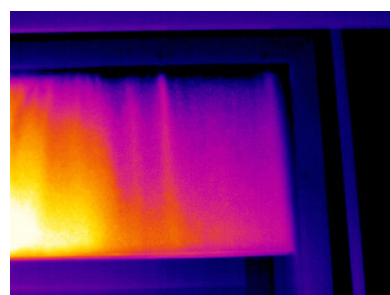
Termograma 141



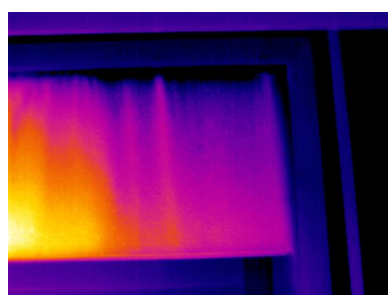
Termograma 142



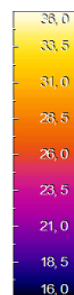
Termograma 143



Termograma 144



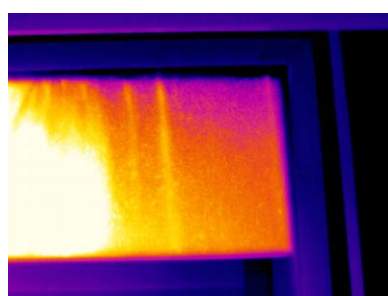
Termograma 145



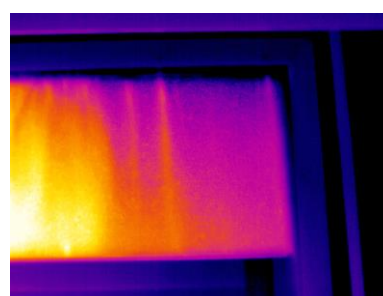
Barra de cor utilizada



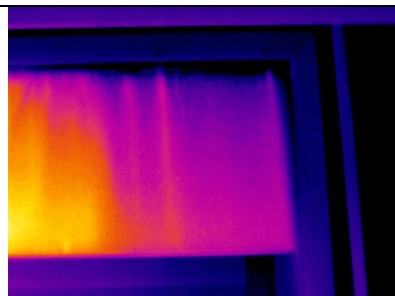
Termograma 146



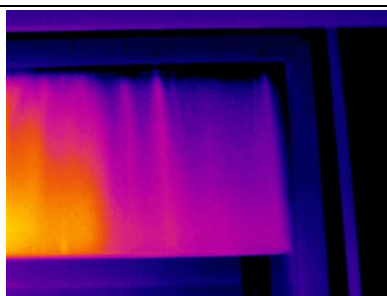
Termograma 147



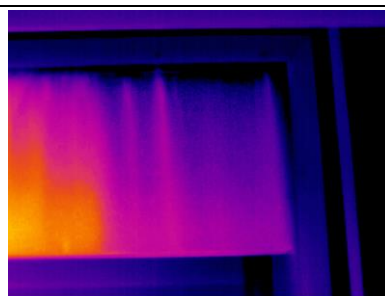
Termograma 148



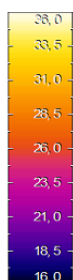
Termograma 149



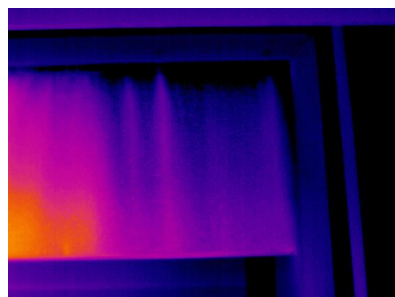
Termograma 150



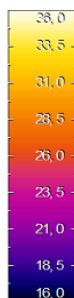
Termograma 151



Barra de cor utilizada



Termograma 152



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFsa	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 18:30
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Orientação Vento
19,4	69,5	13,4	99,2	0,9	214,9

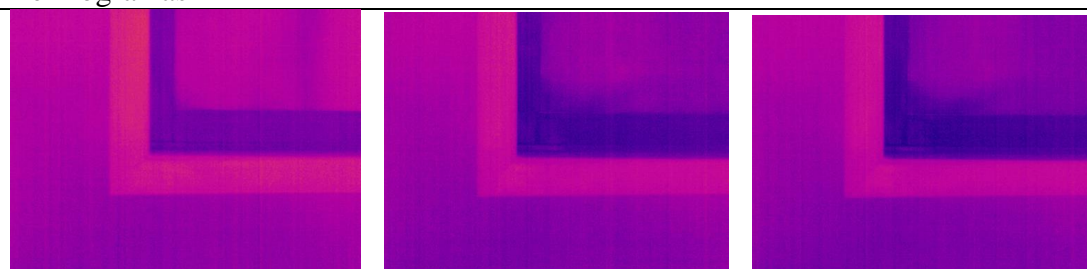
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal sem aquecimento da mesma.

Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	165	0	-	0	-
40	167	1,02	-	0,03	-
88	168	1,63	-	0,09	-
172	169	2,34	-	0,18	-

Termogramas



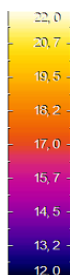
Termograma 165

Termograma 167

Termograma 168

Termograma 169

Barra de cor utilizada



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFca	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 18:35
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20	65,2	13,3	99,9	0,9	242

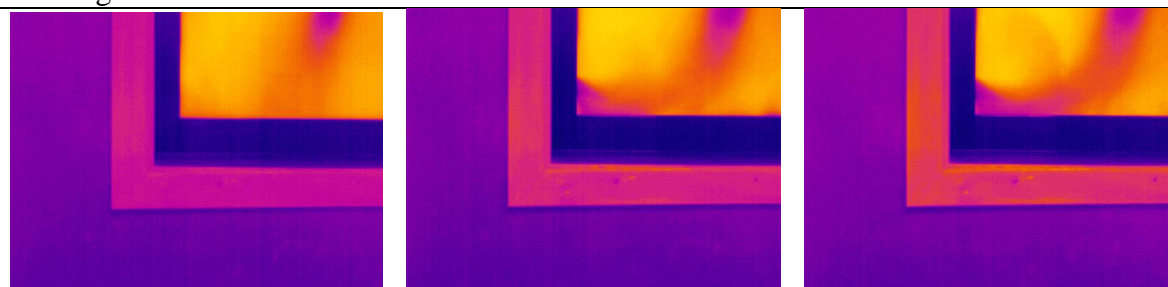
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com aquecimento a mesma.

Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Tpto3 (C°)	Vpto4 (m/s)	Tpto4 (C°)
0	170	0	-	0	-
41	171	1,02	-	0,03	-
88	172	1,63	-	0,09	-
170	173	2,34	-	0,18	-
219	174	2,57	-	0,22	-

Termogramas



Termograma 170

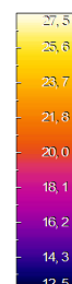
Termograma 171

Termograma 172

Termograma 173

Termograma 174

Barra de cor utilizada



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFcac	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 18:50
--	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20,5	62,8	13,1	100	0,9	250,7

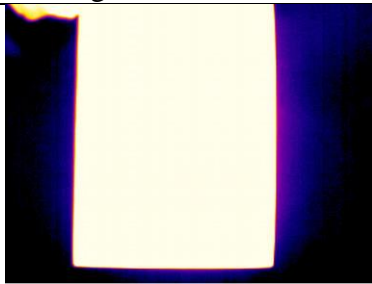
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com a utilização de uma cartolina branca previamente aquecida.

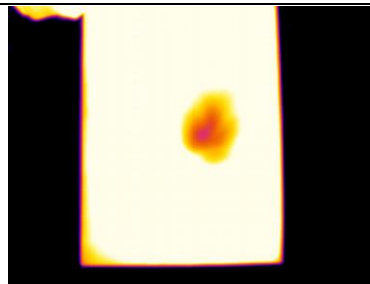
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
87	182 até 186	1,55	19,6
176	187 até 191	2,50	19,5

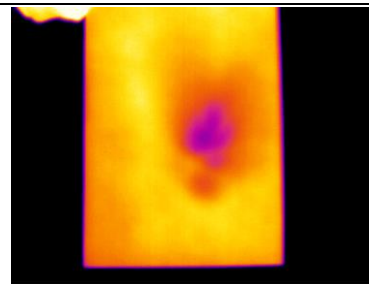
Termogramas



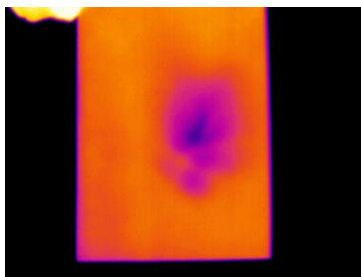
Termograma 182



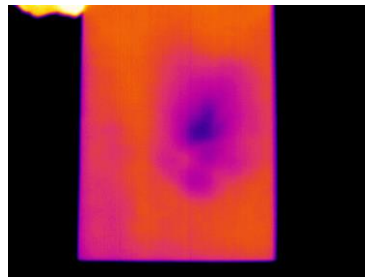
Termograma 183



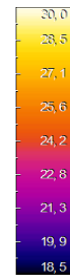
Termograma 184



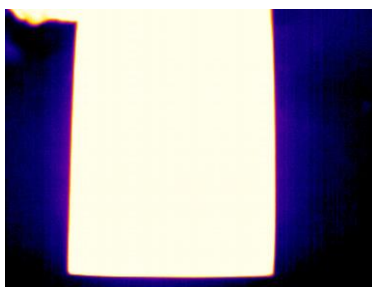
Termograma 185



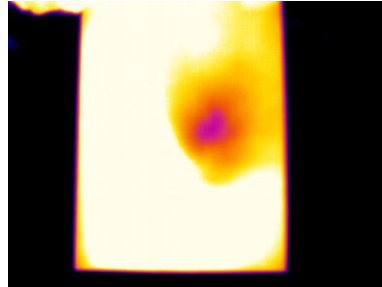
Termograma 186



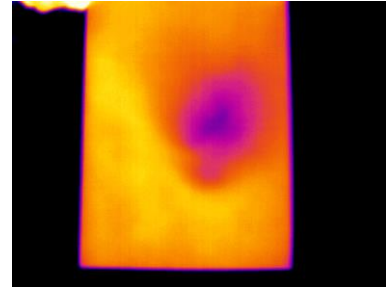
Barra de cor utilizada



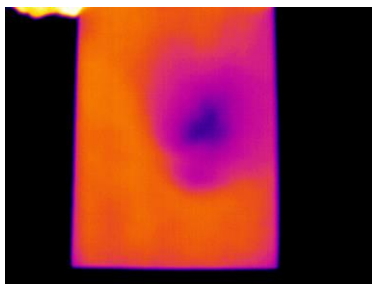
Termograma 187



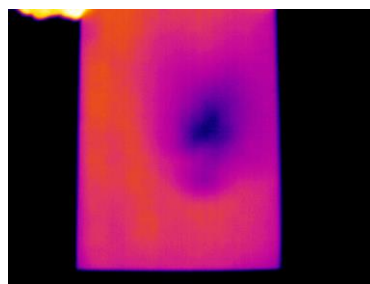
Termograma 188



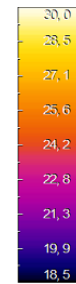
Termograma 189



Termograma 190



Termograma 191



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLsa	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 18:55
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20,5	62,8	13	100	0,9	282,6

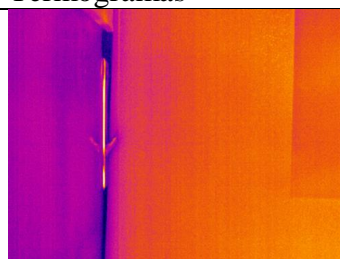
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

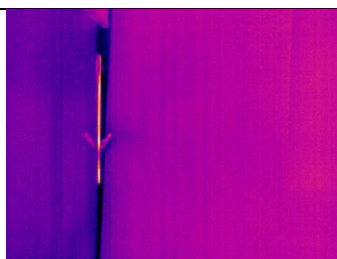
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	192	0,04	23
43	194	0,81	21,3
92	195	1,55	19,6
175	196	2,50	19,5
221	197	2,87	18,9

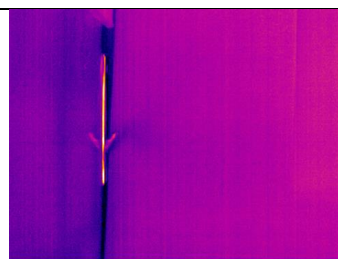
Termogramas



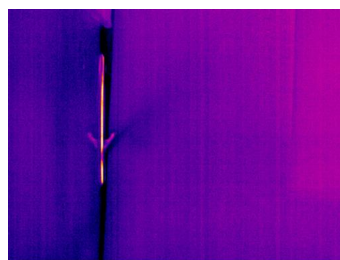
Termograma 192



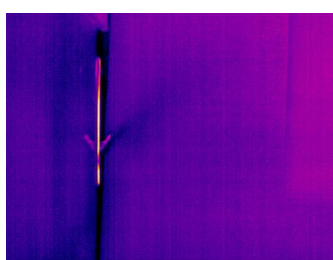
Termograma 194



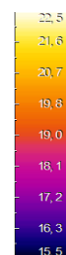
Termograma 195



Termograma 196



Termograma 197



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLca	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 19:00
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20,9	62,2	12,9	100	0,9	282,6

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)	Tpto8 (C°)
0	200	0,04	23
44	201	0,81	21,3
92	202	1,55	19,6
174	203	2,50	19,5
221	204	2,87	18,9

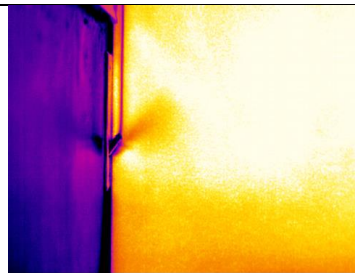
Termogramas



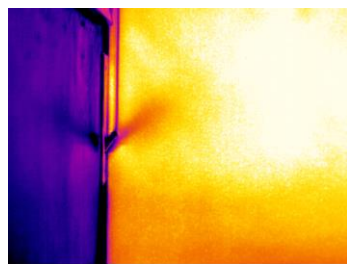
Termograma 200



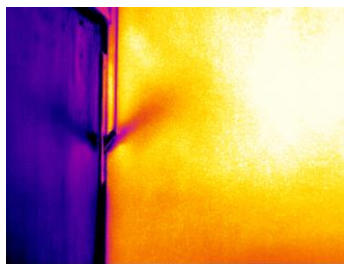
Termograma 201



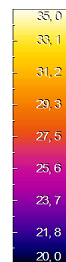
Termograma 202



Termograma 203



Termograma 204



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_CFcac	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 18:45
--	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20	65,2	13.1	100	0,9	250,7

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com utilização de um painel de baixa condutibilidade previamente aquecido.

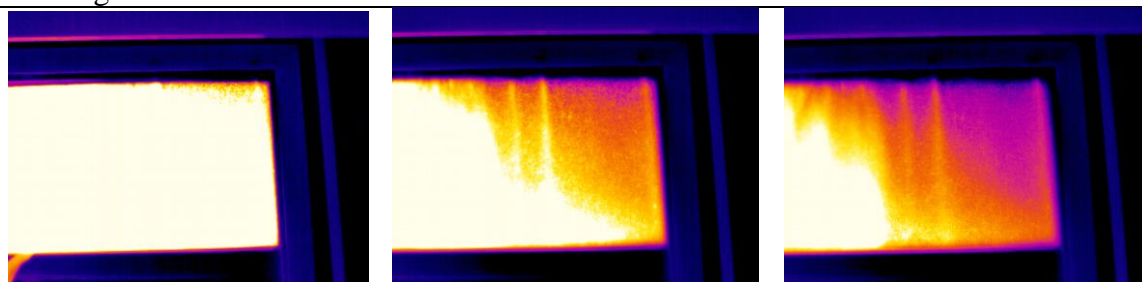
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto9 (m/s)	Tpto9 (C°)
71	175 até 180	7,7	15

Observações

Mantem-se a radiação infravermelha ligada.

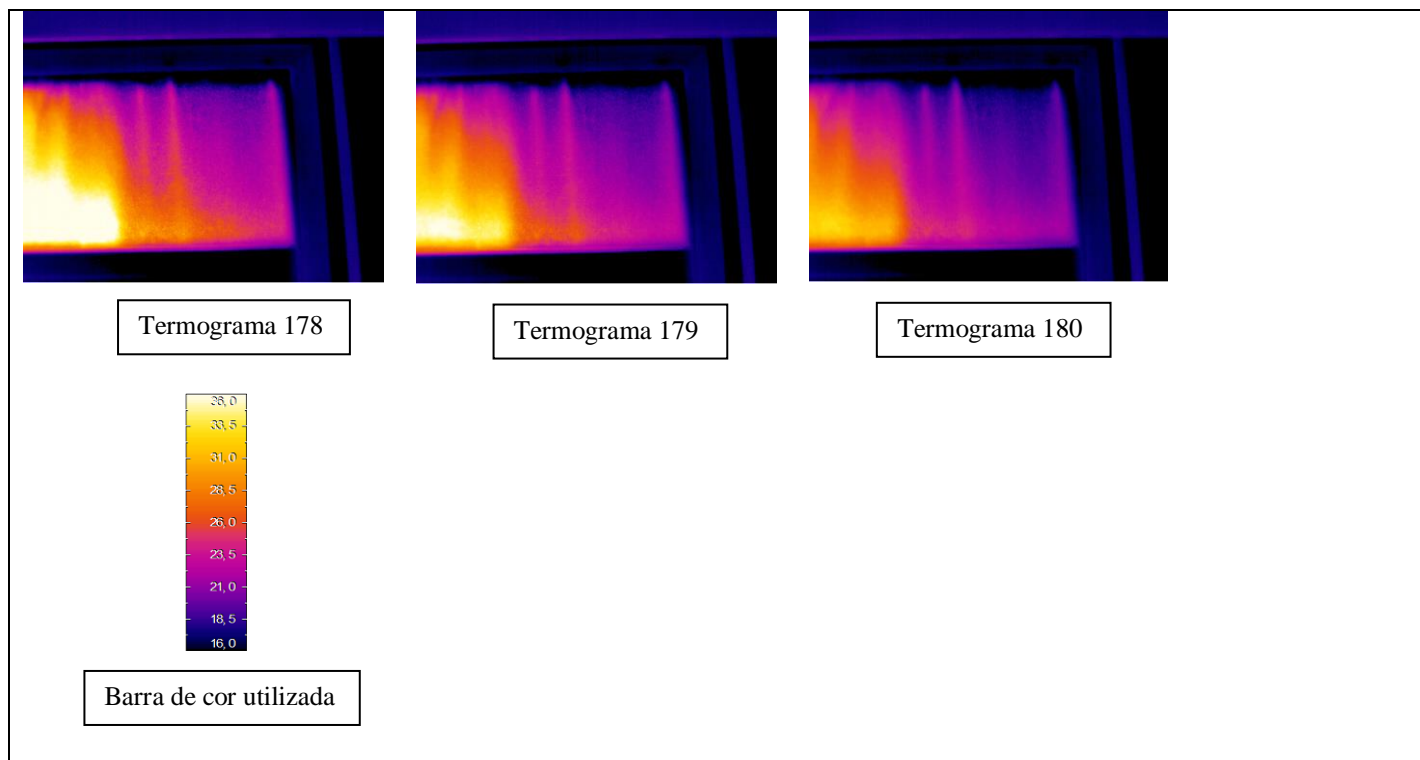
Termogramas



Termograma 175

Termograma 176

Termograma 177



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFsa	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 10:40
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
16,5	85	18,4	65,3	3,7	137,3

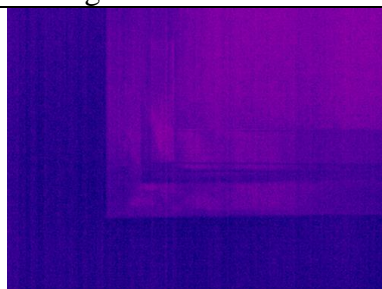
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal sem aquecimento da mesma.

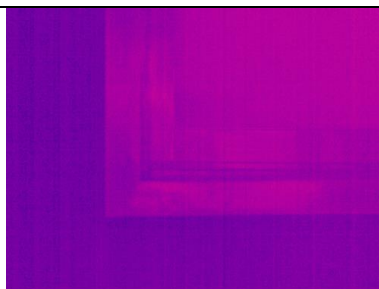
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Vpto4 (m/s)
0	205	0	0
27	206	0,35	0
64	207	0,48	0,06
165	208	2,00	0,20

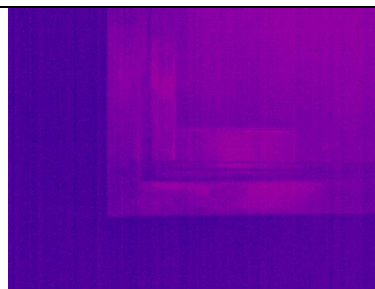
Termogramas



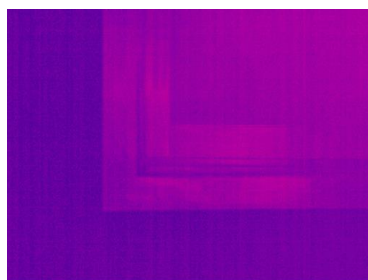
Termograma 205



Termograma 206



Termograma 207



Termograma 208



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFca	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 10:50
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir.Vento (°)
17,2	83,9	18,4	65,3	3,7	137,3

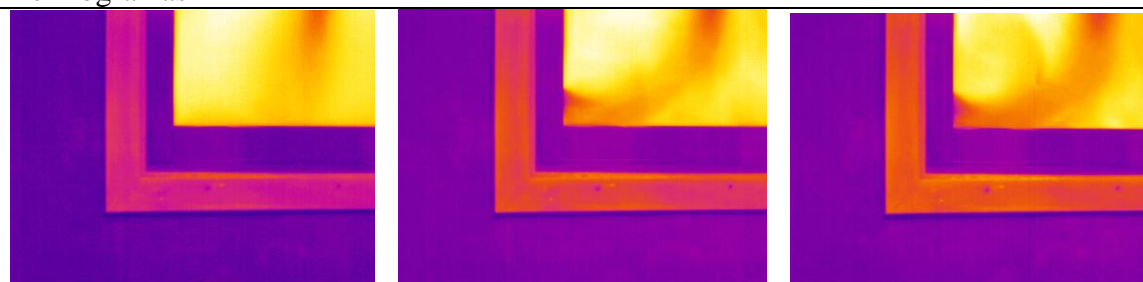
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com aquecimento a mesma.

Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Vpto4 (m/s)
0	209	0	0
32	210	0,35	0
70	211	0,48	0,06
165	212	2,00	0,20
223	213	2,65	0,25

Termogramas



Termograma 209

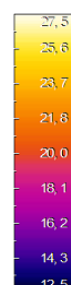
Termograma 210

Termograma 211

Termograma 212

Termograma 213

Barra de cor utilizada



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFcac	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 11:00
--	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
17,4	82,3	18,5	65,4	4,4	138

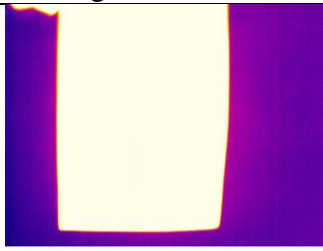
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com depressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com a utilização de uma cartolina branca previamente aquecida.

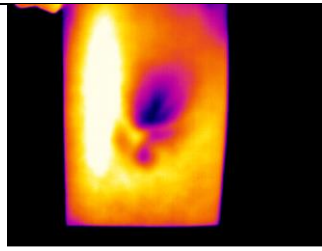
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
80	214 até 219	1,50
172	220 até 226	2,50

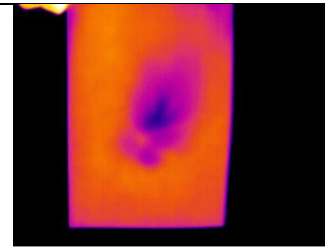
Termogramas



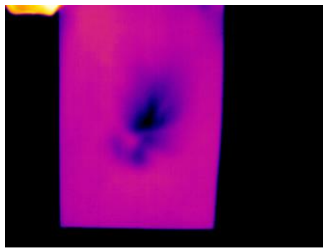
Termograma 214



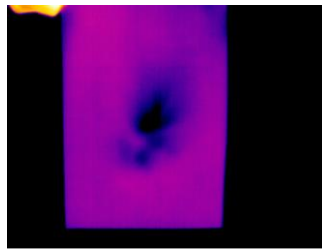
Termograma 215



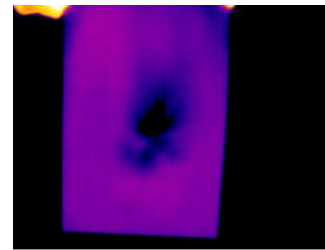
Termograma 216



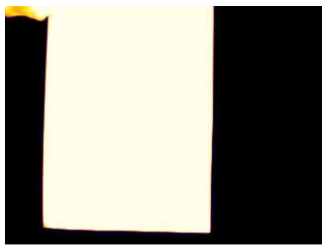
Termograma 217



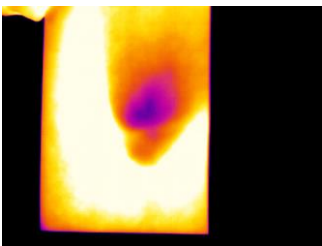
Termograma 218



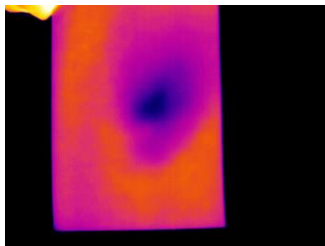
Termograma 219



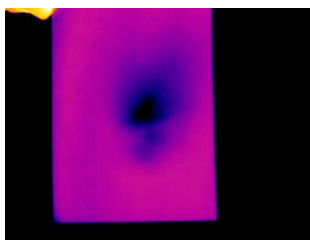
Termograma 220



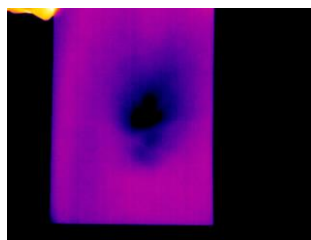
Termograma 221



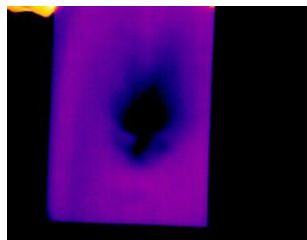
Termograma 222



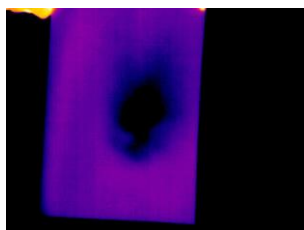
Termograma 223



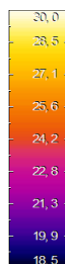
Termograma 224



Termograma 225



Termograma 226



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLsa	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 11:15
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
17,5	82,8	18,3	67,4	4	135,9

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

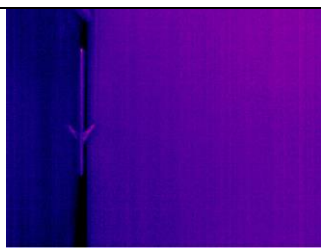
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
0	236	0
39	237	0,85
88	238	1,50
175	239	2,50
220	240	2,83

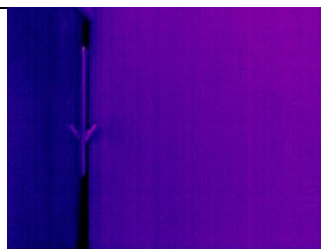
Termogramas



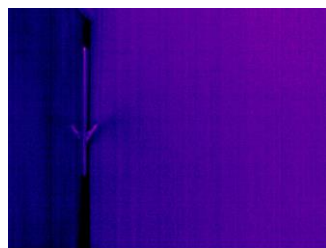
Termograma 236



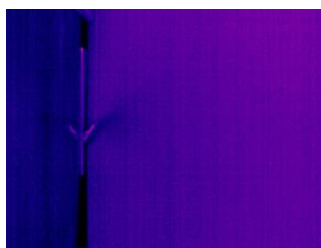
Termograma 237



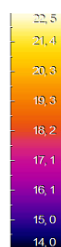
Termograma 238



Termograma 239



Termograma 240



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLca	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 11:25
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
18,7	79,8	18,4	67,5	4,2	145,6

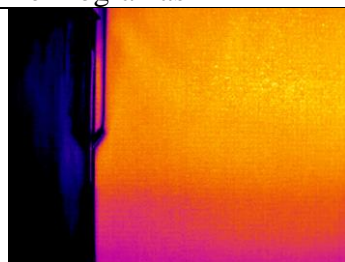
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

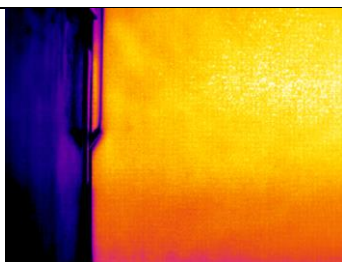
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
0	241	0
41	242	0,85
87	243	1,50
170	244	2,50
220	245	2,83

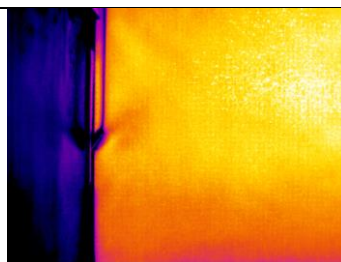
Termogramas



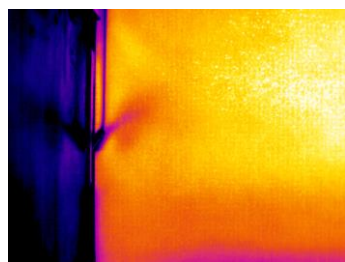
Termograma 241



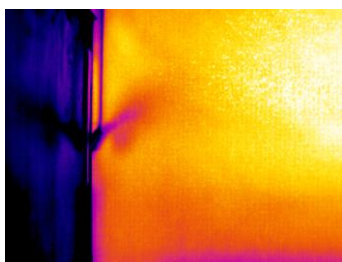
Termograma 242



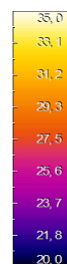
Termograma 243



Termograma 244



Termograma 245



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_CFsa	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 11:05
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
17,4	82,3	18,3	66,5	4,1	134,4

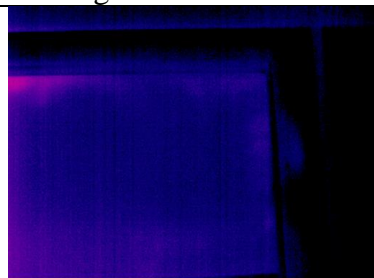
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com utilização de um painel de baixa condutibilidade sem aquecimento prévio.

Resultados

ΔP	Termogramas
0	227
38	228
88	229
175	230

Termogramas



Termograma 227



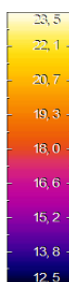
Termograma 228



Termograma 229



Termograma 230



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_CFcac	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 11:10
--	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
17,5	82,8	18,3	66,5	4,1	134,4

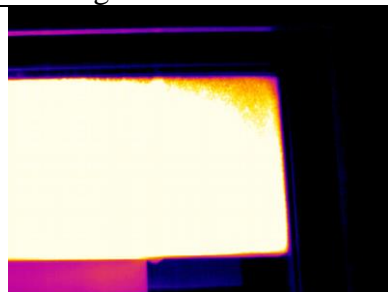
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com utilização de um painel de baixa condutibilidade previamente aquecido.

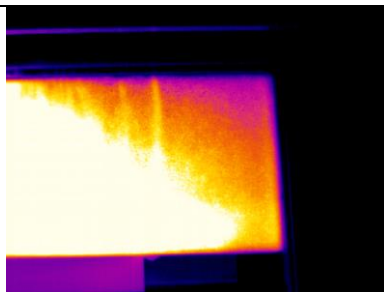
Resultados

ΔP	Termogramas
62	231 até 235

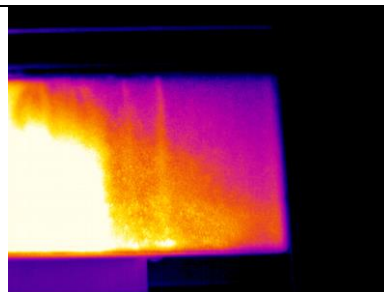
Termogramas



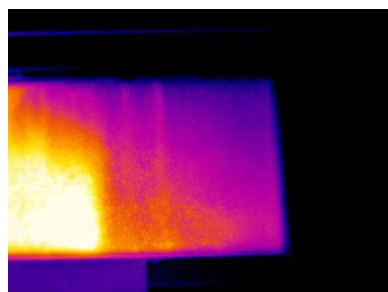
Termograma 231



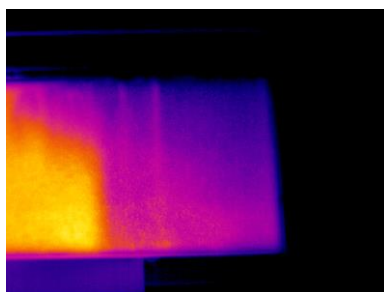
Termograma 232



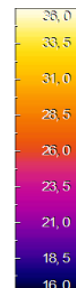
Termograma 233



Termograma 234



Termograma 235



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFsa	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 15:25
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
18,3	85,9	17,0	86,6	2,5	102,6

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal sem aquecimento da mesma.

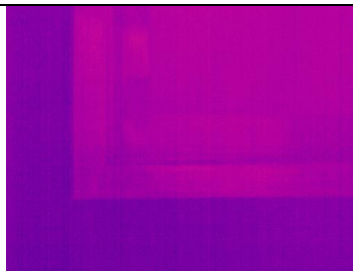
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Vpto4 (m/s)
0	246	0	0
40	247	1,05	0
88	248	1,20	0,08
174	249	1,88	0,15

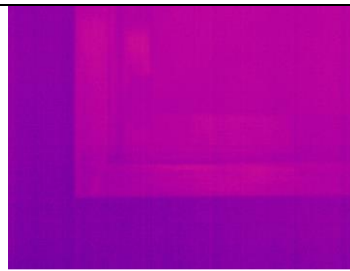
Termogramas



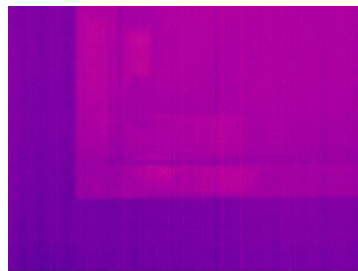
Termograma 246



Termograma 247



Termograma 248



Termograma 249



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFca	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 15:30
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19	83,1	16,9	86,7	2,6	89,1

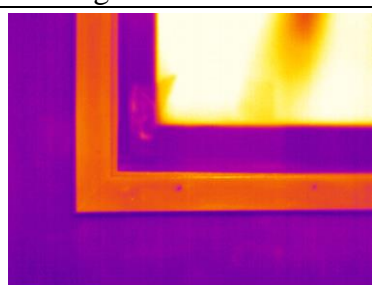
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com aquecimento a mesma.

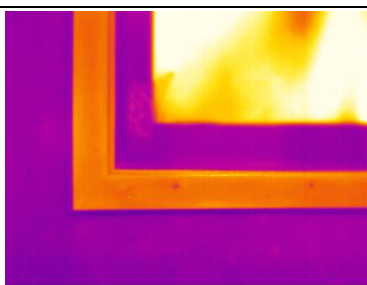
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Vpto4 (m/s)
0	250	0	0
39	251	1,05	0
86	252	1,20	0,08
165	253	1,88	0,15
215	254	3,0	0,19

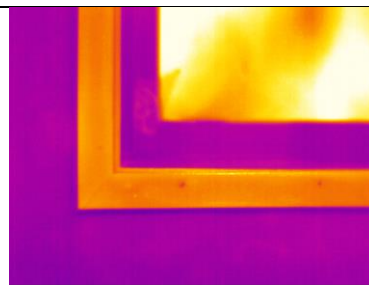
Termogramas



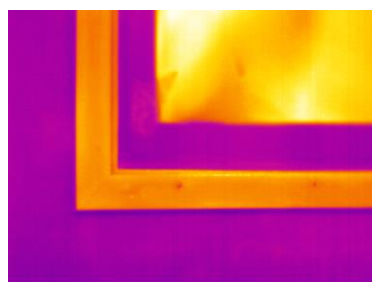
Termograma 250



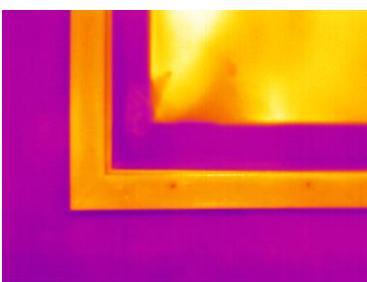
Termograma 251



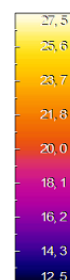
Termograma 252



Termograma 253



Termograma 254



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFcac	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 15:40
--	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,1	81,8	16,9	85,9	2,4	91,2

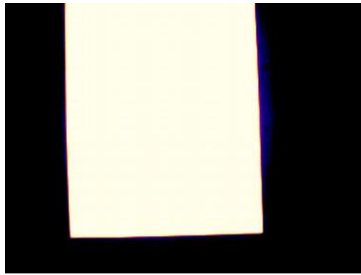
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com a utilização de uma cartolina branca previamente aquecida.

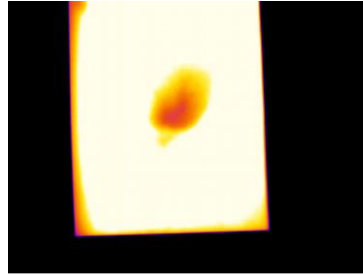
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
88	255 até 260	1,52
172	261 até 265	2,43

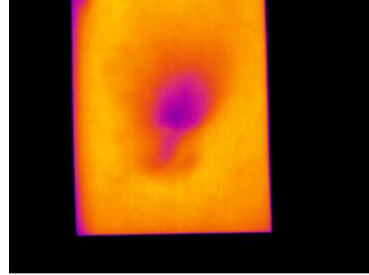
Termogramas



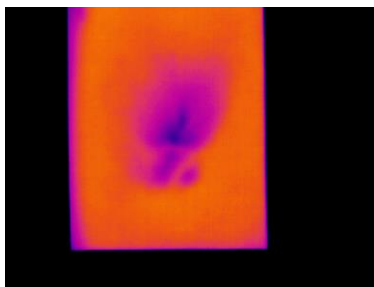
Termograma 255



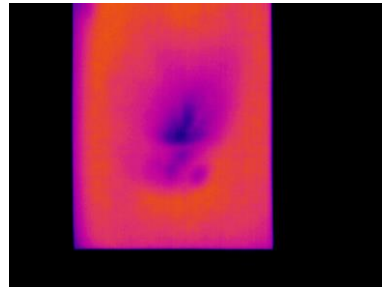
Termograma 256



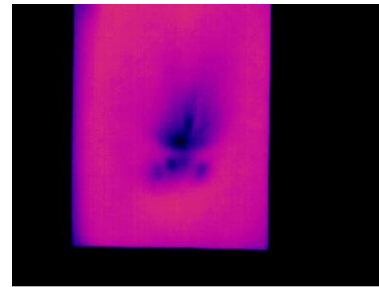
Termograma 257



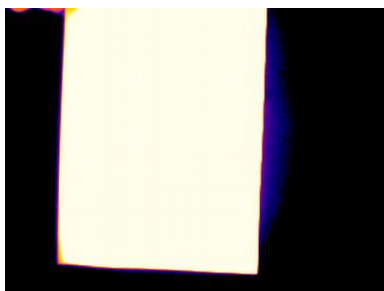
Termograma 258



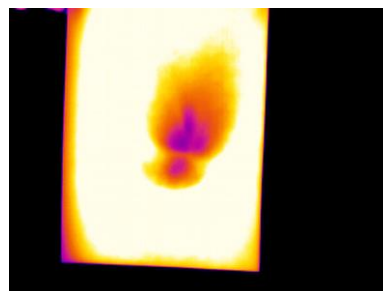
Termograma 259



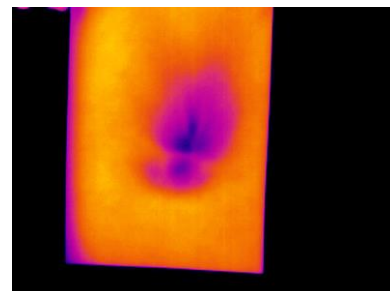
Termograma 260



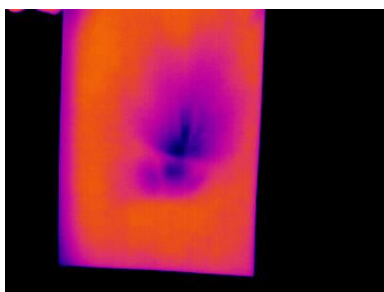
Termograma 261



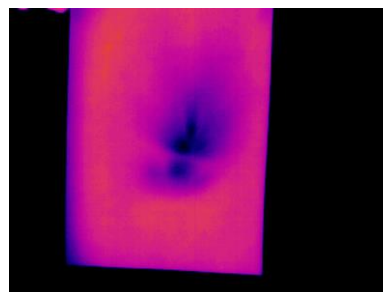
Termograma 262



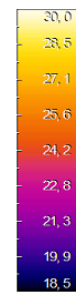
Termograma 263



Termograma 264



Termograma 265



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLsa	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 15:50
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,9	80,6	17,1	83	2,4	96,2

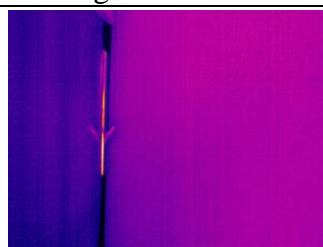
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

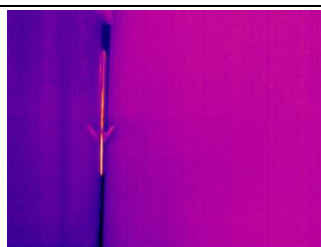
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
0	279	0
43	280	0,81
92	281	1,52
171	282	2,43
219	283	2,75

Termogramas



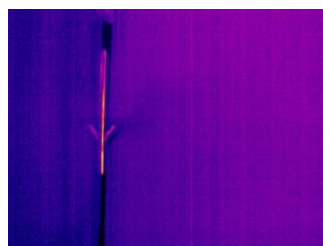
Termograma 279



Termograma 280



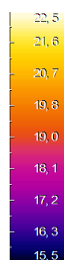
Termograma 281



Termograma 282



Termograma 283



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLca	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 15:55
---	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,4	69,8	17,3	79,5	2,5	121,5

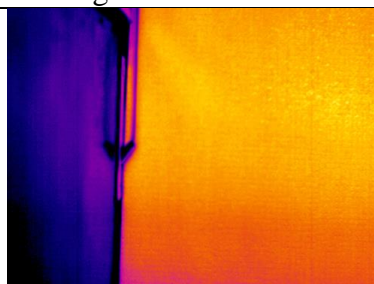
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

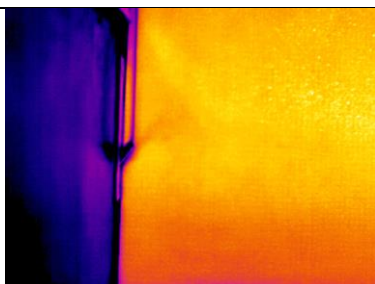
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
0	284	0
42	285	0,81
88	286	1,52
165	287	2,43
212	288	2,75
272	289	-

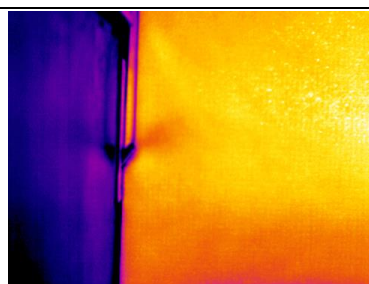
Termogramas



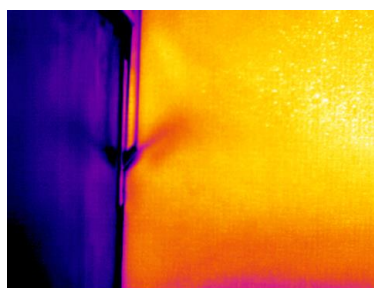
Termograma 284



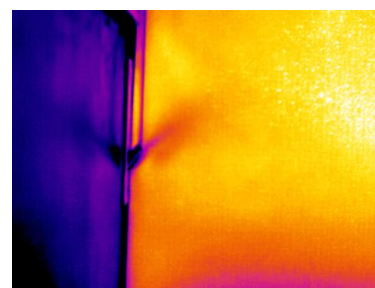
Termograma 285



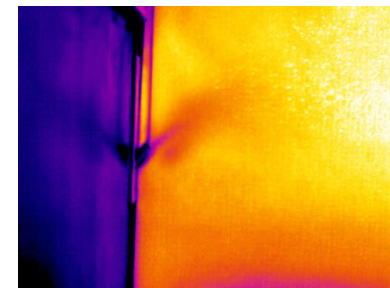
Termograma 286



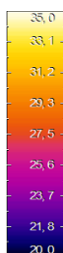
Termograma 287



Termograma 288



Termograma 289



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_CFsa	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 15:42
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,1	81,8	16,9	85,9	2,4	91,2

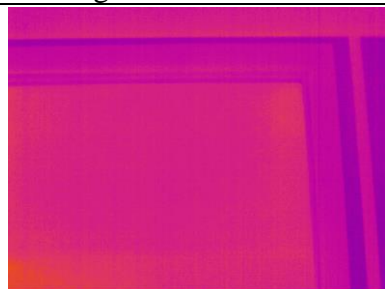
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com utilização de um painel de baixa condutibilidade sem aquecimento prévio.

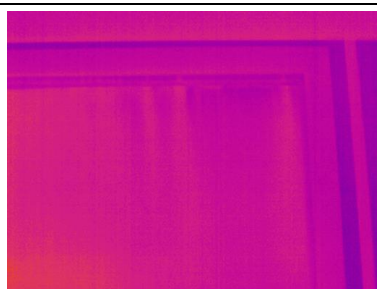
Resultados

ΔP	Termogramas
0	267
42	268
90	269
166	270

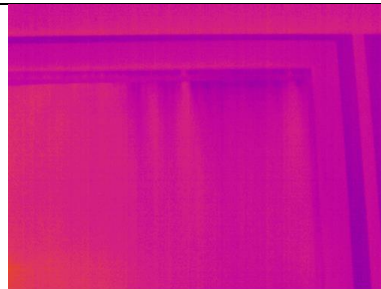
Termogramas



Termograma 267



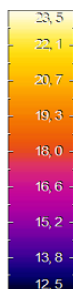
Termograma 268



Termograma 269



Termograma 270



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_CFcac	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 15:45
--	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,9	80,6	17,1	83	2,4	96,2

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com utilização painel de baixa condutibilidade previamente aquecido.

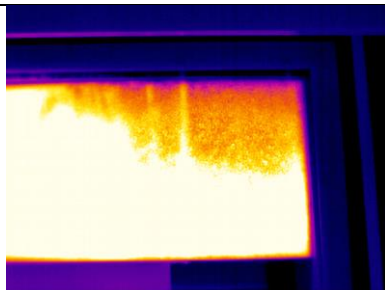
Resultados

ΔP	Termogramas
63	273 até 277

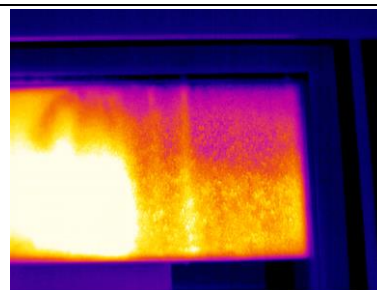
Termogramas



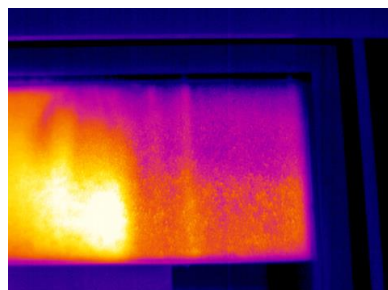
Termograma 273



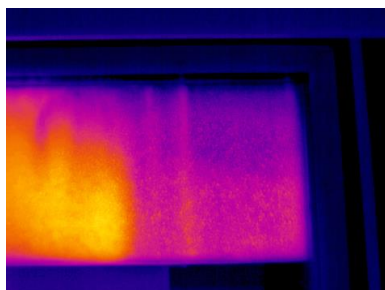
Termograma 274



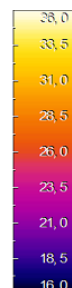
Termograma 275



Termograma 276



Termograma 277



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFsa	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 10:20
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
17,4	56,8	10	83,6	2,6	71,9

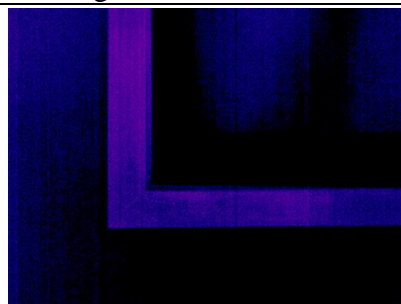
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal sem aquecimento da mesma.

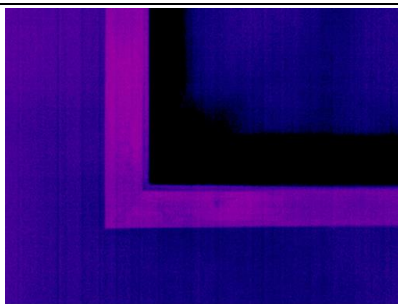
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Vpto4 (m/s)
0	301	0,29	0
30	302	0,83	0,01
64	303	1,47	0,09
173	304	2,15	0,12

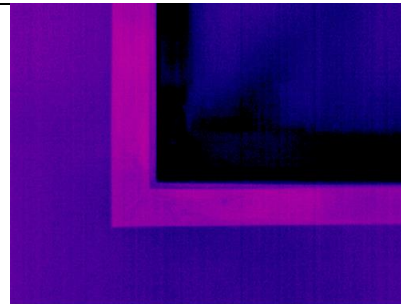
Termogramas



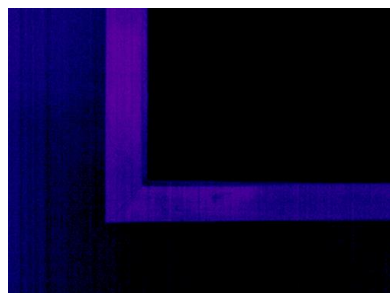
Termograma 301



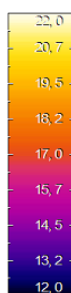
Termograma 302



Termograma 303



Termograma 304



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_JFca	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 10:30
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
18,3	57,3	10,5	81	2,5	71,3

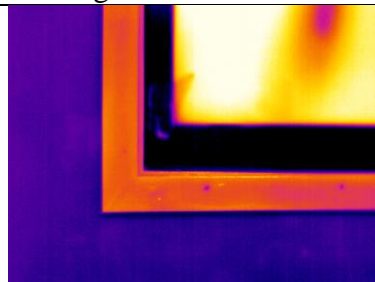
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com aquecimento a mesma.

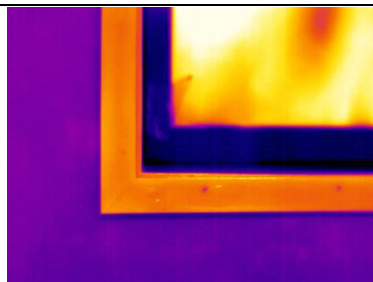
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto3 (m/s)	Vpto4 (m/s)
0	305	0,29	0
32	306	0,83	0,01
70	307	1,47	0,09
168	308	2,15	0,12
230	309	2,80	0,18

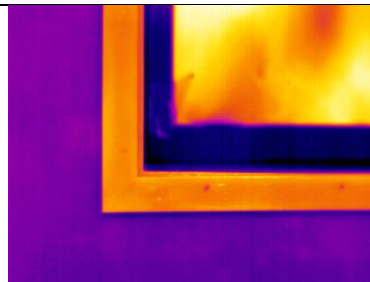
Termogramas



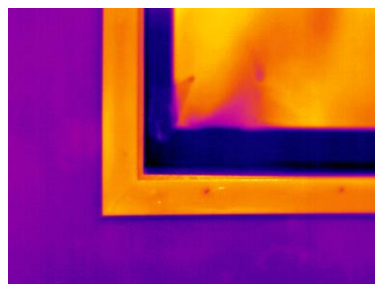
Termograma 305



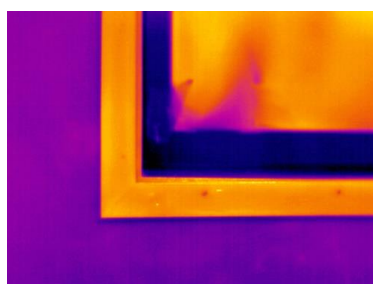
Termograma 306



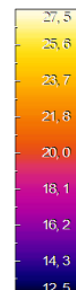
Termograma 307



Termograma 308



Termograma 309



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RFcac	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 10:45
--	-----------------------------	-----------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,8	52,5	11,1	79,1	2,6	75,9

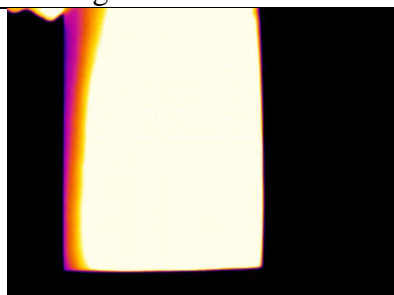
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com a roldana inferior da fita de estore em vista frontal com a utilização de uma cartolina branca previamente aquecida.

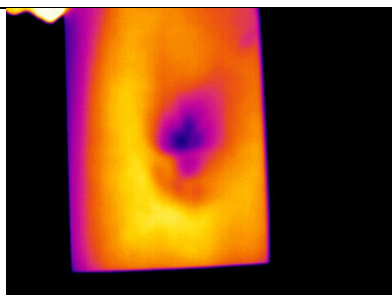
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
80	319 até 325	1,75
170	326 até 331	3,00

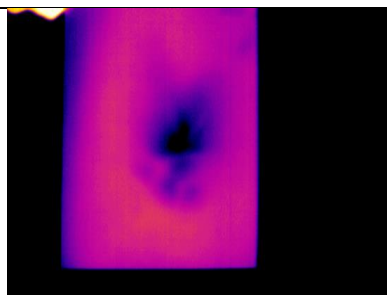
Termogramas



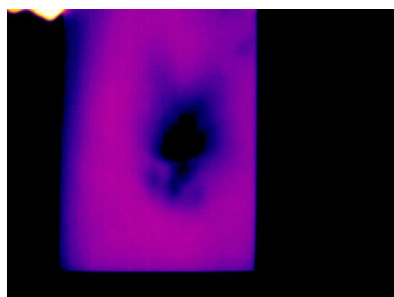
Termograma 319



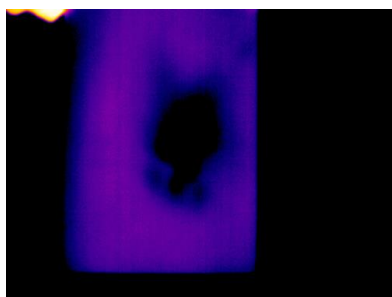
Termograma 320



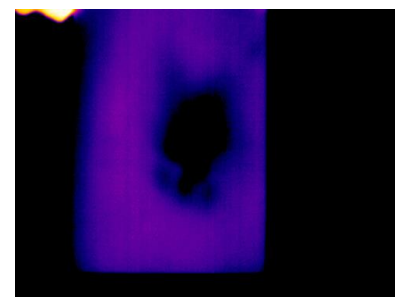
Termograma 321



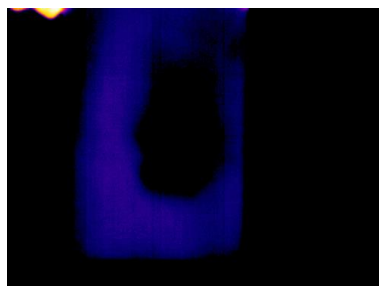
Termograma 322



Termograma 323



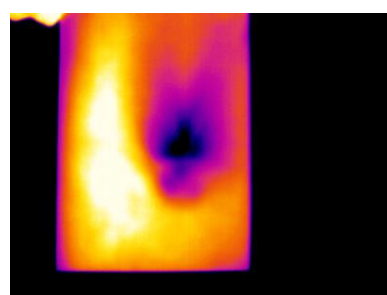
Termograma 324



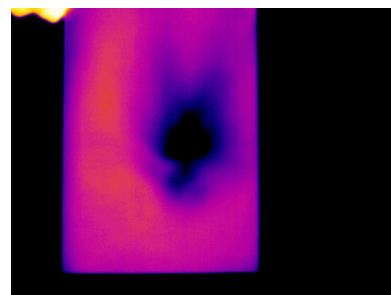
Termograma 325



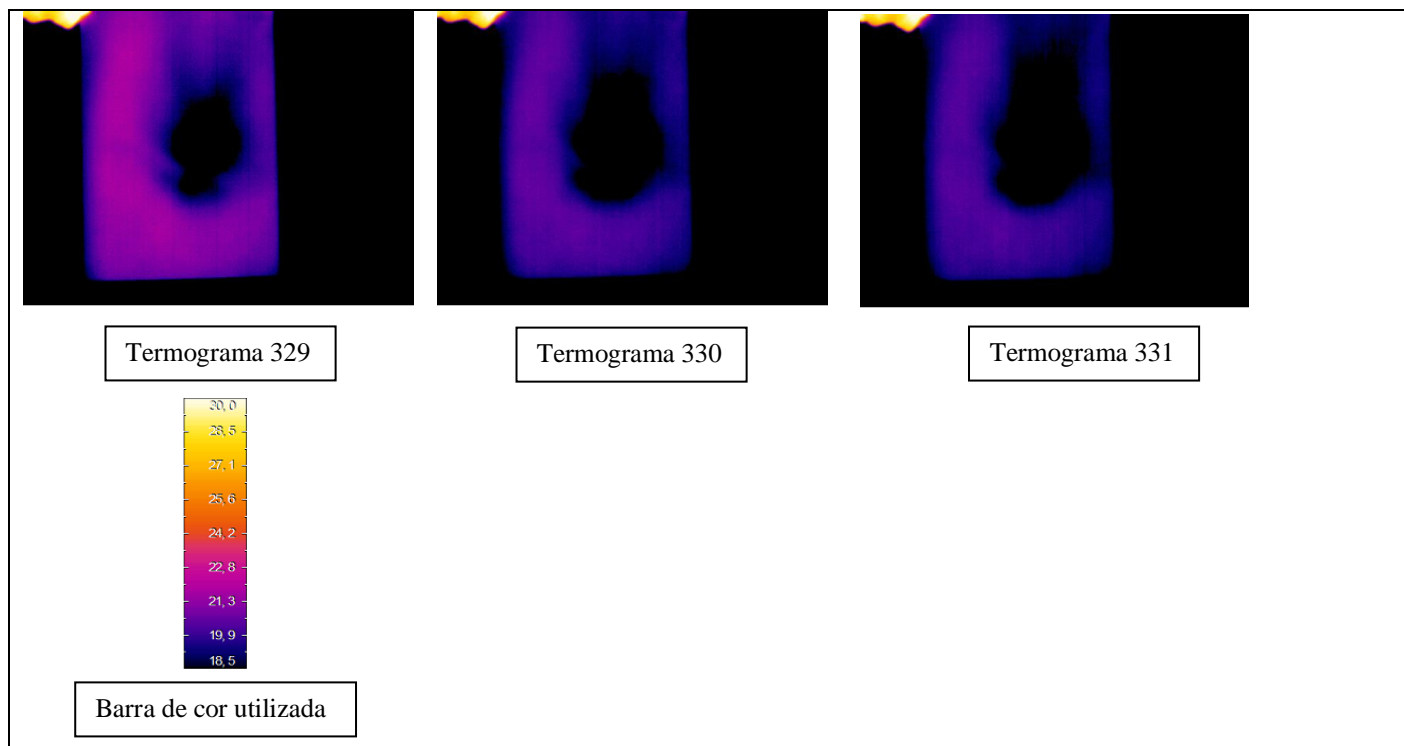
Termograma 326



Termograma 327



Termograma 328



Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLsa	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 10:50
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,8	52,5	11,1	79,1	2,6	75,9

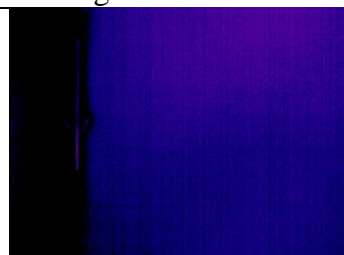
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral sem aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

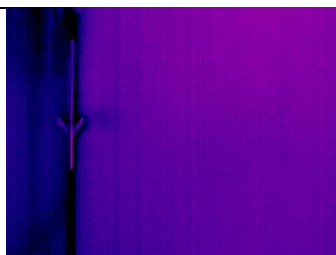
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
0	332	0
41	333	0,85
90	334	1,75
172	335	3,00
221	336	3,20

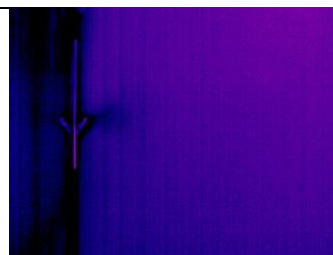
Termogramas



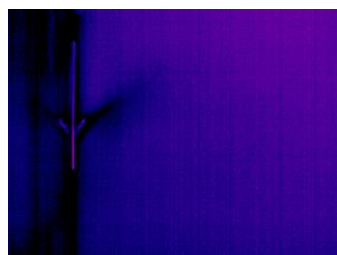
Termograma 332



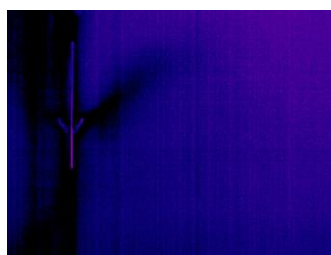
Termograma 333



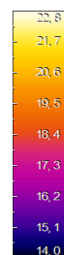
Termograma 334



Termograma 335



Termograma 336



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_RLca	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 10:55
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,9	50,1	11,5	78,7	2,3	71,6

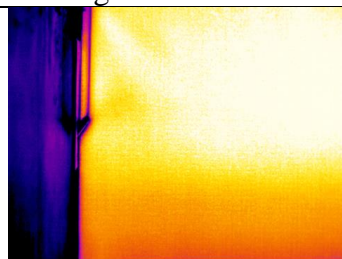
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com roldana inferior da fita de estore em vista lateral com aquecimento do painel de baixa condutibilidade.

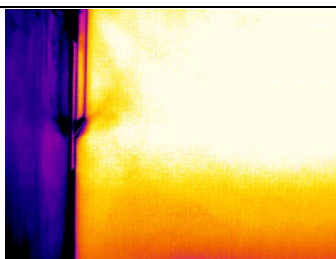
Resultados

ΔP	Termogramas	Vpto8 (m/s)
0	338	0
43	339	0,85
90	340	1,75
172	341	3,00
220	342	3,20

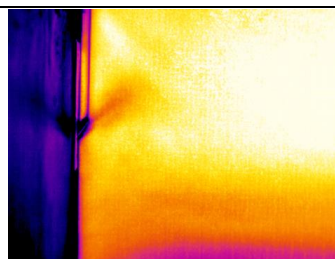
Termogramas



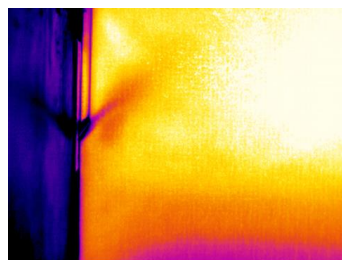
Termograma 338



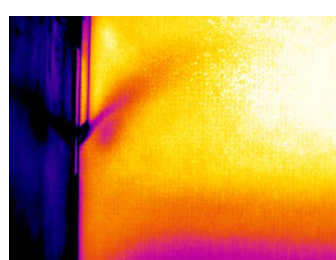
Termograma 339



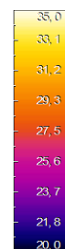
Termograma 340



Termograma 341



Termograma 342



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_CFsa	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 10:35
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,6	52,1	10,5	81	2,5	71,3

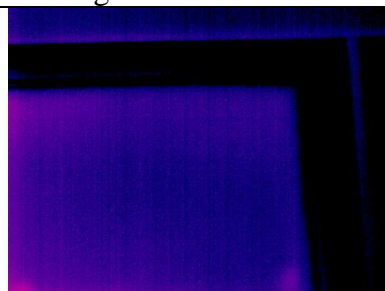
Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com utilização de um painel de baixa condutibilidade.

Resultados

ΔP	Termogramas
0	310
36	311
82	312
170	313

Termogramas



Termograma 310



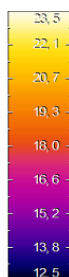
Termograma 311



Termograma 312



Termograma 313



Barra de cor utilizada

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ET_CFcac	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 10:40
--	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,6	52,1	10,8	80,2	2,8	72,6

Descrição do ensaio

Ensaio termográfico com despressurização a velocidade variável com janela em vista frontal com utilização de um painel de baixa condutibilidade.

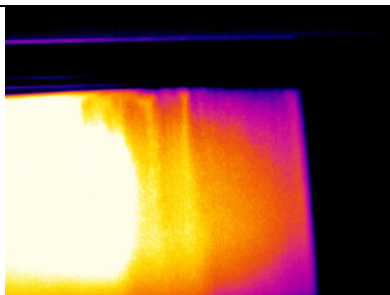
Resultados

ΔP	Termogramas
60	314 até 318

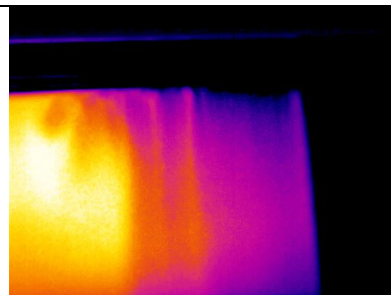
Termogramas



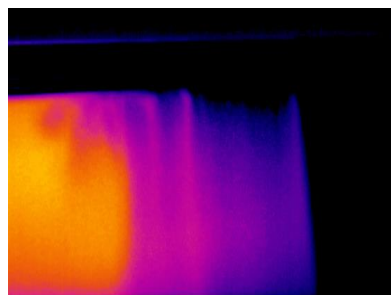
Termograma 314



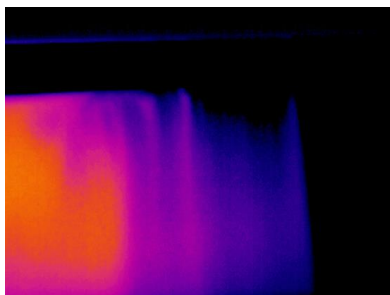
Termograma 315



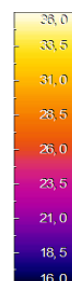
Termograma 316



Termograma 317



Termograma 318



Barra de cor utilizada

Anexo IV – Fichas de Ensaios Individuais: Ensaios de Despressurização

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_NS	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 17:35
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,7	53,5	24,3	31,8	1,9	94,3

Descrição do ensaio

Ensaio de depressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, sem nada selado.

Resultados (ficheiro: 20Out_NS)

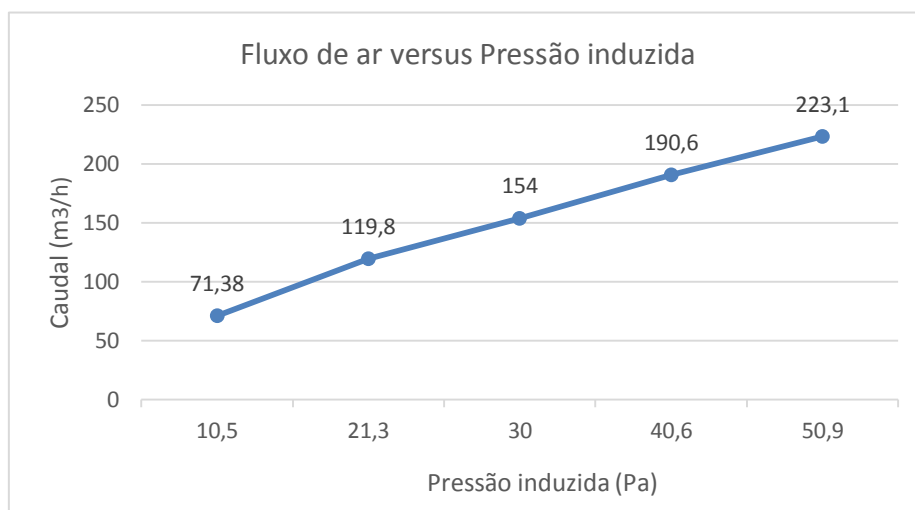


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

20 de Outubro_NS	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	223	221,5	224,5	0,70%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	8,04	7,23	8,845	10%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	27,654	24,882	30,425	10%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	20,909	18,814	23,004	10%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SR	Data: 20 de Outubro	Hora de início: -
---	----------------------------	--------------------------

Condições atmosféricas: -

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a roldana inferior da fita de estore selada.

Resultados (ficheiro: 20Out_SR)

Ficheiro mal gravado. Anulamento do ensaio.

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SC	Data: 20 de Outubro	Hora de início: 18:00
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
23,6	58,2	24,1	32,6	1,3	182,8

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a caixilharia da janela selada.

Resultados (ficheiro: 20Out_SC)

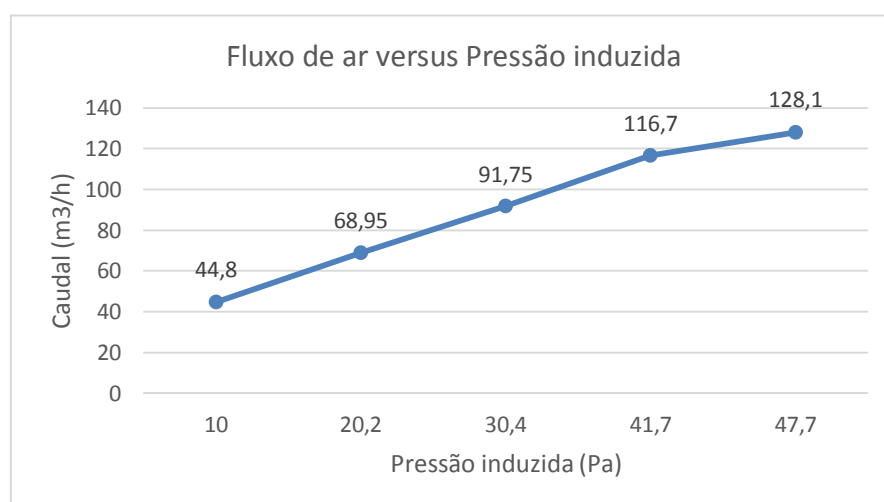


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

20 de Outubro_SC	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	130,71	124,2	137,6	5,10%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	4,714	4,184	5,244	11,20%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	16,2175	14,394	18,041	11,20%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	12,262	10,883	13,641	11,20%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_NS	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 17:15
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,6	65,2	14,2	100	1,5	163,8

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, sem nada selado.

Resultados (ficheiro: 02Nov_NS)

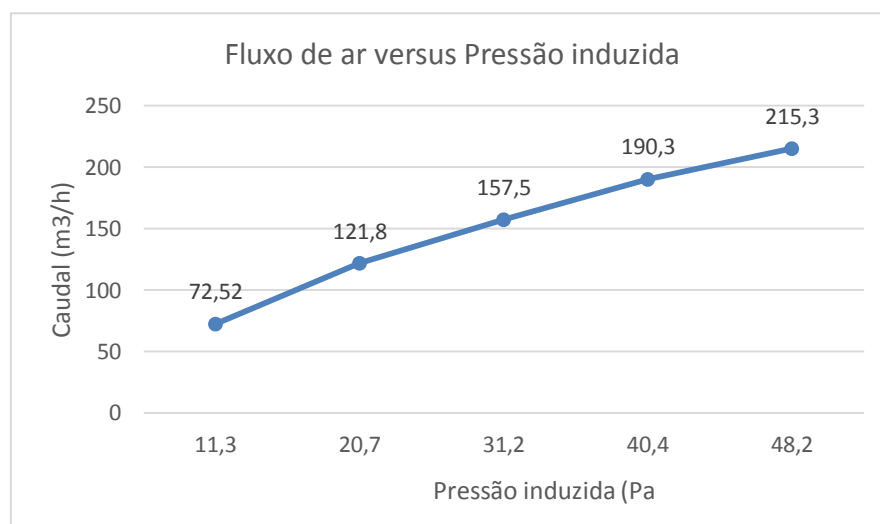


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

2 de Novembro_NS	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	224,5	209,5	240	6,80%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	8,09	7,115	9,07	12,10%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	27,844	24,477	31,212	12,10%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	21,053	18,507	23,599	12,10%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SR	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 17:30
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,3	66,6	14,1	100	2,2	143,5

Descrição do ensaio

Ensaio de depressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a roldana inferior da fita de estore selada.

Resultados (ficheiro: 02Nov_SR)

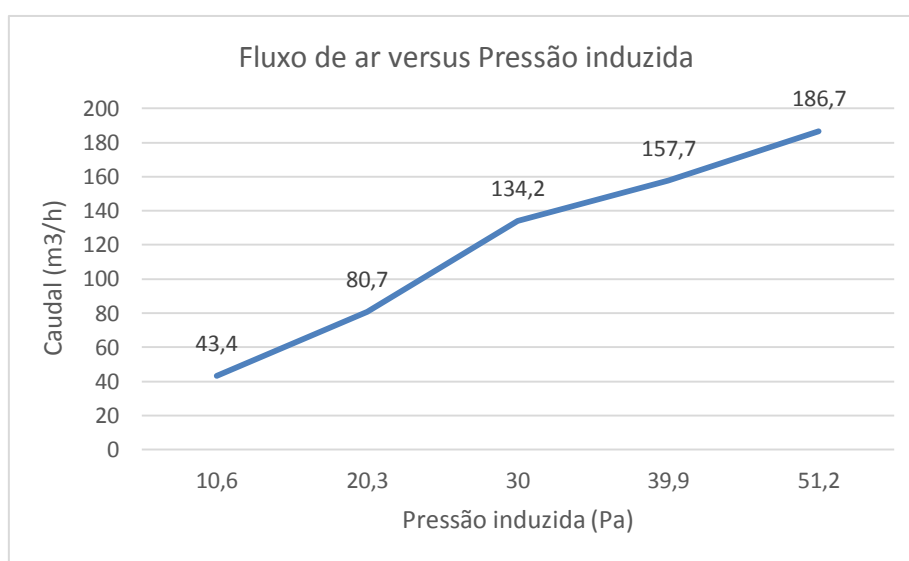


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

2 de Novembro_SR	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m³/h]	195,86	165,6	231,6	16,80%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [1/h]	7,063	5,68	8,446	19,60%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m³/h.m²]	24,3002	19,543	29,058	19,60%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m³/h.m²]	18,3733	14,7761	21,9705	19,60%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SC	Data: 2 de Novembro	Hora de início: 17:50
---	----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir.Vento (°)
22,1	68,3	14,2	100	1,9	154,2

Descrição do ensaio

Ensaio de depressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a caixilharia da janela selada.

Resultados (ficheiro: 02Nov_SC)

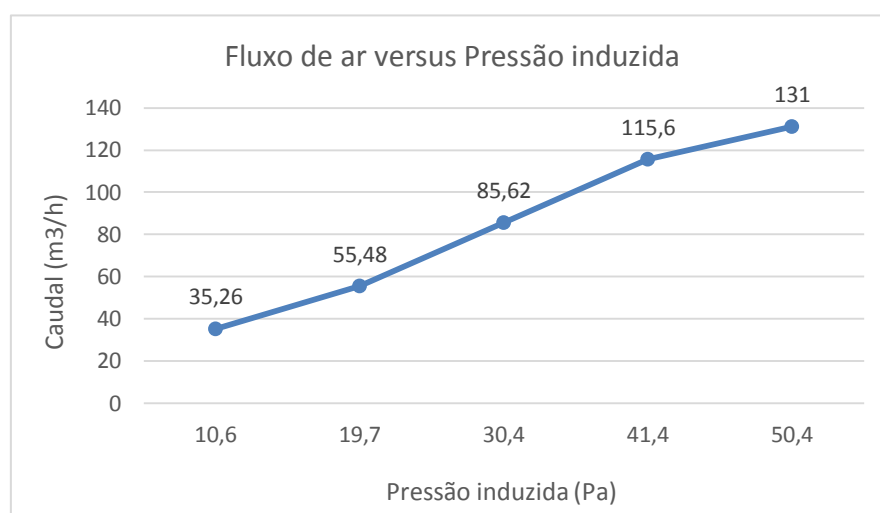


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

2 de Novembro_SC	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	131,5	120,5	144	8,90%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	4,75	4,11	5,38	13,40%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	16,327	14,139	18,516	13,40%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	12,345	10,69	14	13,40%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_NS	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 15:45
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,3	76,5	20,1	76,5	1,4	209,9

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, sem nada selado.

Resultados (ficheiro: 13Nov_NS)

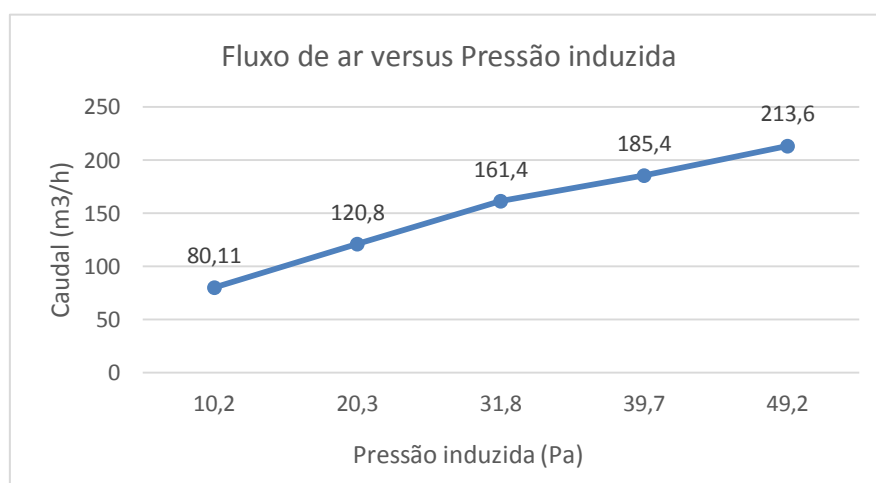


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

13 de Novembro_NS	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	211,94	210,1	213,8	0,90%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	7,643	6,876	8,41	10%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	26,2956	23,656	28,935	10%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	19,882	17,8862	21,8778	10%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SR	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 15:55
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,3	76,5	19,7	77,4	1,5	228

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a roldana inferior da fita de estore selada.

Resultados (ficheiro: 13Nov_SR)

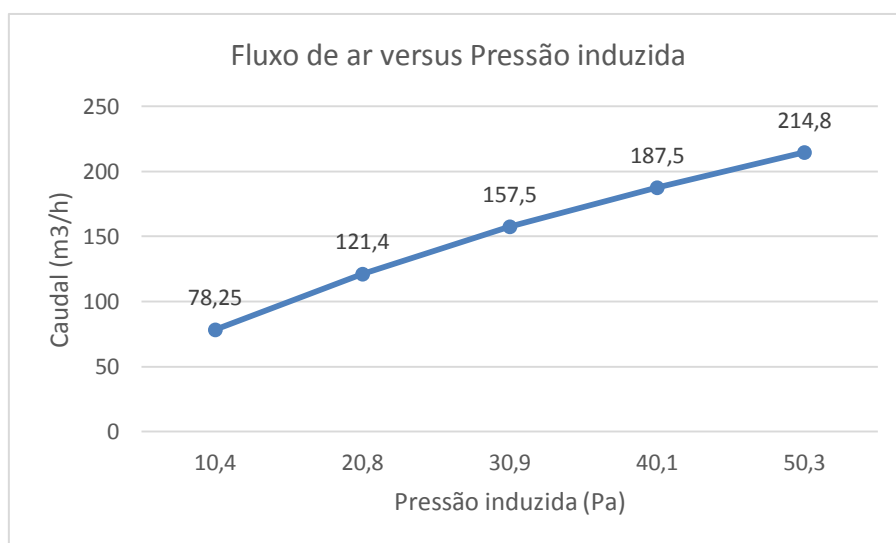


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

13 de Novembro_SR	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	213,86	211,6	216,2	1,10%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [l/h]	7,712	6,937	8,488	10,10%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	26,4029	23,748	29,058	10,10%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	20,0622	18,0446	22,0799	10,10%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SC	Data: 13 de Novembro	Hora de início: 16:10
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,3	76,5	19,7	76,3	1,3	243,2

Descrição do ensaio

Ensaio de depressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a caixilharia da janela selada.

Resultados (ficheiro: 13Nov_SC)

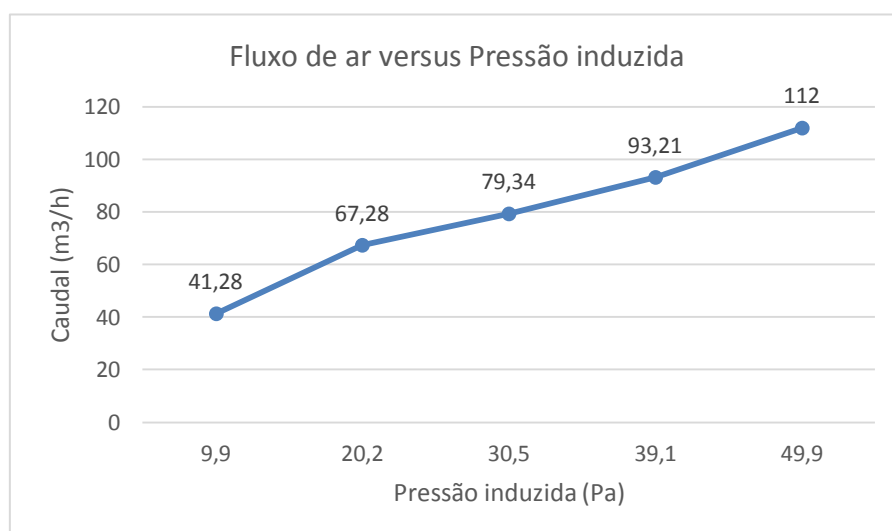


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

13 de Novembro_SC	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	110	101,1	119	8,30%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	3,96	3,445	4,475	13%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	13,554	11,796	15,312	13%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	10,299	8,963	11,635	13%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_NS	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 17:45
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20,3	61,7	14,1	95	0,8	208,1

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, sem nada selado.

Resultados (ficheiro: 27Nov_NS)

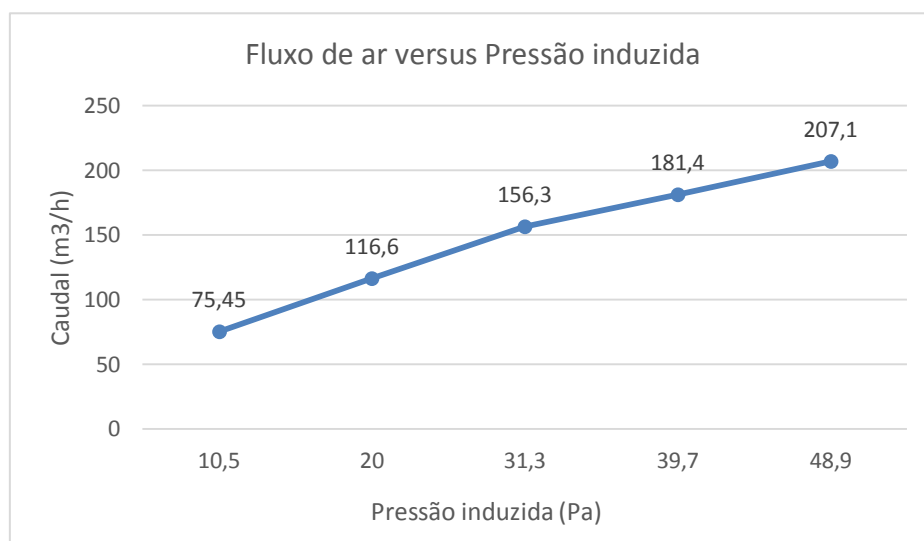


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

27 de Novembro_NS_1	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	210,5	206	215,5	2,30%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	7,59	6,815	8,37	10,30%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	26,123	23,443	28,803	10,30%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	19,752	17,725	21,778	10,30%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SR	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 17:55
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,8	65,2	13,9	96,3	0,9	211,3

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a roldana inferior da fita de estore selada.

Resultados (ficheiro: 27Nov_SR)

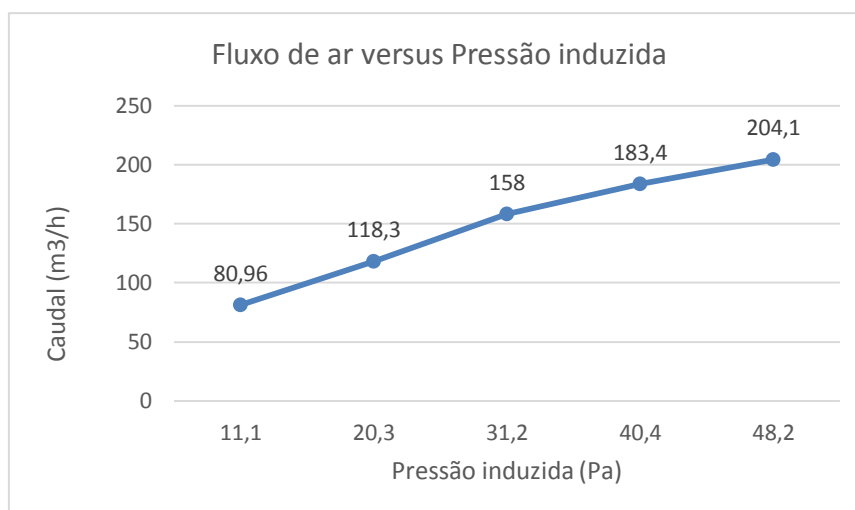


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

27 de Novembro_SR_1	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	208,66	204,1	213,4	2,20%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	7,525	6,754	8,296	10,20%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	25,8881	23,236	28,541	10,20%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	19,574	17,5685	21,5794	10,20%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SC	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 18:10
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
19,6	67,2	13,6	97,8	0,9	240,9

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a caixilharia da janela selada.

Resultados (ficheiro: 27Nov_SC)

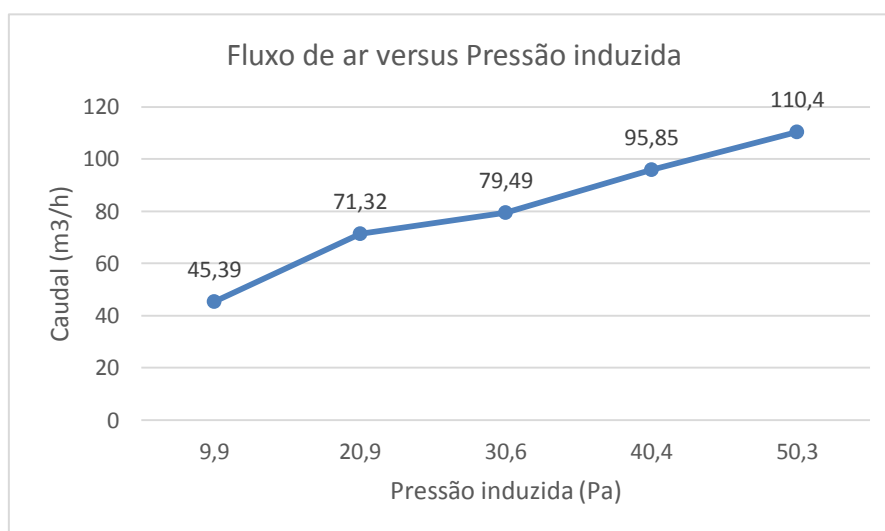


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

27 de Novembro_SC_1	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	107,5	99	117	8,5
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	3,88	3,375	4,395	13,10%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	13,365	11,614	15,115	13,10%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	10,105	8,781	11,429	13,10%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_NS	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 19:10
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
22,7	55,2	12,8	100	1,1	202,6

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, sem nada selado.

Resultados (ficheiro: 27Nov_NS_2)

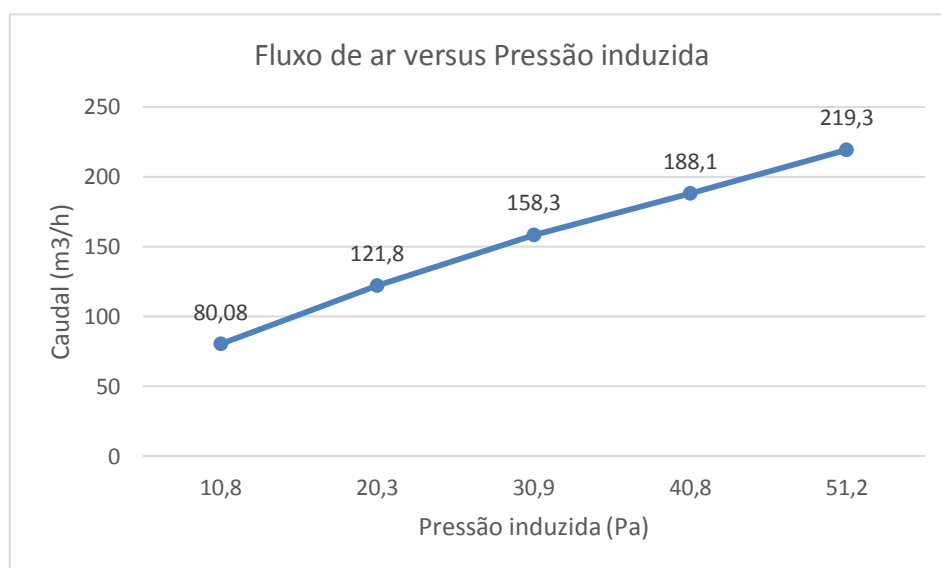


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

27 de Novembro_NS_2	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	215,50	212,00	219,10	1,60%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	7,77	6,99	8,56	10,10%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	26,74	24,04	29,45	10,10%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	20,22	18,17	22,27	10,10%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SR	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 19:40
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
20,4	65,2	12,5	100	1,6	270,6

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a roldana inferior da fita de estore selada.

Resultados (ficheiro: 27Nov_SR_2)

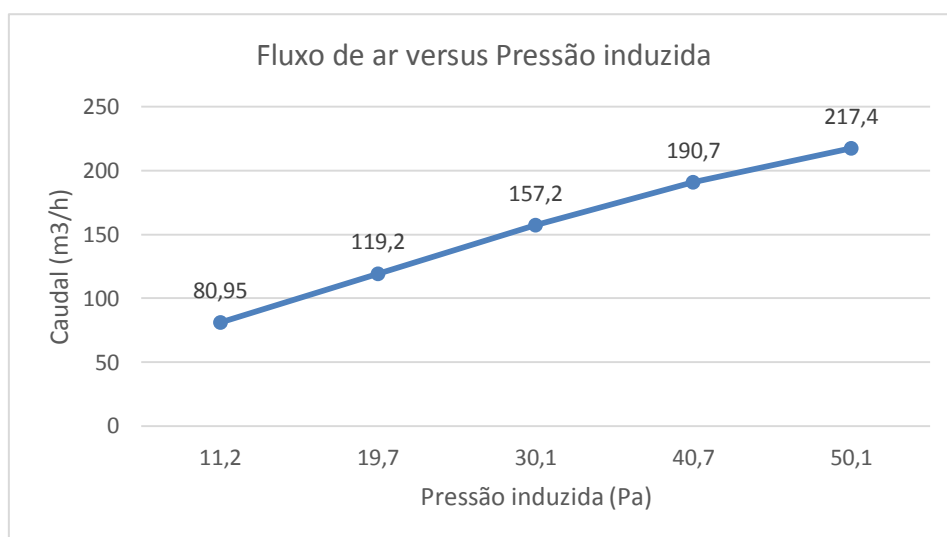


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

27 de Novembro_SR_2	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	217,50	213,50	222,00	1,90%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	7,85	7,05	8,65	10,20%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	27,00	24,25	29,75	10,20%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	20,41	18,33	22,49	10,20%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SC	Data: 27 de Novembro	Hora de início: 19:25
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21,1	60,7	12,6	100	1,1	296,3

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a caixilharia da janela selada.

Resultados (ficheiro: 27Nov_SC_2)

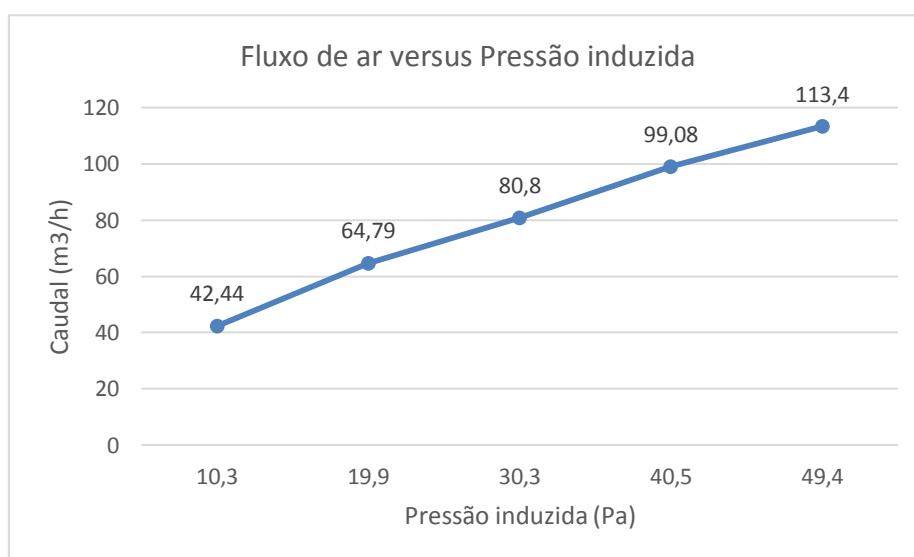


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

27 de Novembro_SC_2	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	113,00	108,50	117,50	4,00%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	4,07	3,63	4,51	10,80%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	14,00	12,49	15,51	10,80%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	10,59	9,45	11,73	10,80%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_NS	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 11:30
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
18,1	80,8	18,4	67,5	4,2	145,6

Descrição do ensaio

Ensaio de depressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, sem nada selado.

Resultados (ficheiro: 15Dez_NS)

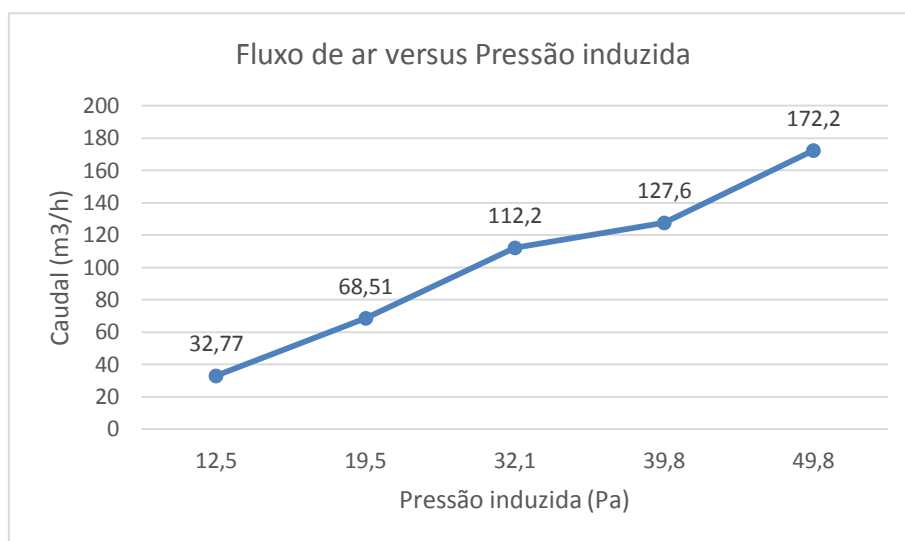


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

15 de Dezembro_NS	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	189,00	157,50	226,50	18,40%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	6,81	5,39	8,24	20,90%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	23,43	18,53	28,33	20,90%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	17,71	14,01	21,42	20,90%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SR	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 11:50
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
18	83,3	18,5	67,9	3,3	139,4

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a roldana inferior da fita de estore selada.

Resultados (ficheiro: 15Dez_SR)

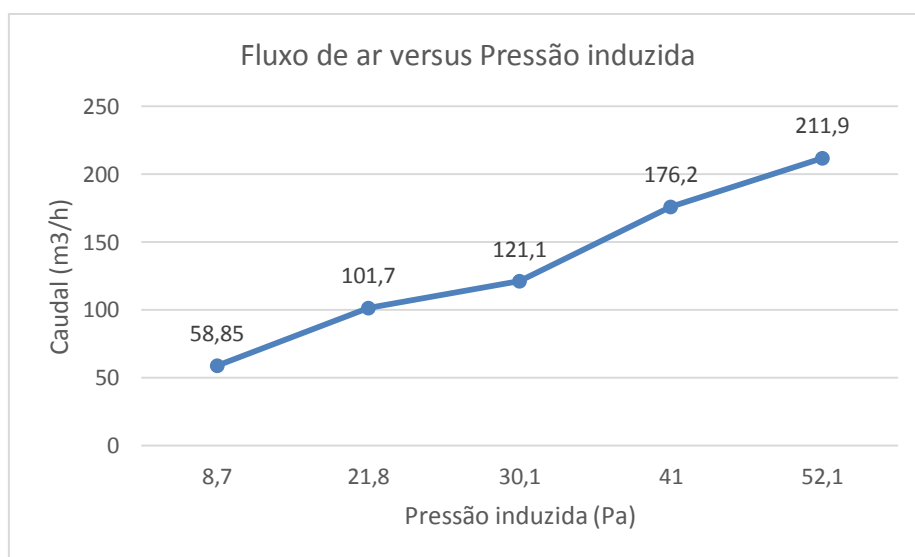


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

15 de Dezembro_SR	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V50 [m³/h]	194,50	147,00	275,50	28,30%
Modificação do ar a 50 Pa, n50 [1/h]	7,02	4,91	9,13	30,00%
Permeabilidade a 50 Pa, q50 [m³/h.m²]	24,15	16,90	31,41	30,00%
Fuga específica a 50 Pa, w50 [m³/h.m²]	18,26	12,78	23,75	30,00%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SC	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 12:05
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
18,1	83,3	18,4	68,8	3,9	129,8

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a caixilharia da janela selada.

Resultados (ficheiro: 15Dez_SC)

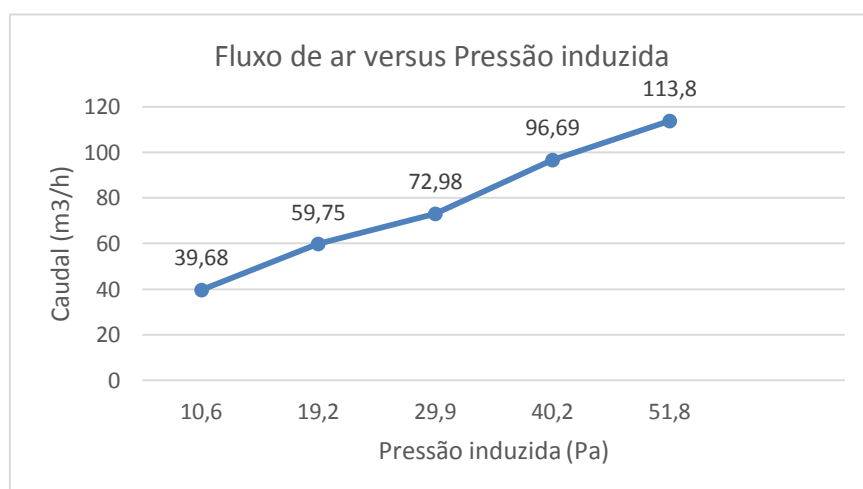


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

15 de Dezembro_SC	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	109,50	98,45	122,00	10,80%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	3,96	3,38	4,54	14,70%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	13,61	11,61	15,62	14,70%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	10,29	8,77	11,81	14,70%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_NS	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 15:05
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
18,1	85	17	86,6	2,3	131,5

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, sem nada selado.

Resultados (ficheiro: 15Dez_NS_2)

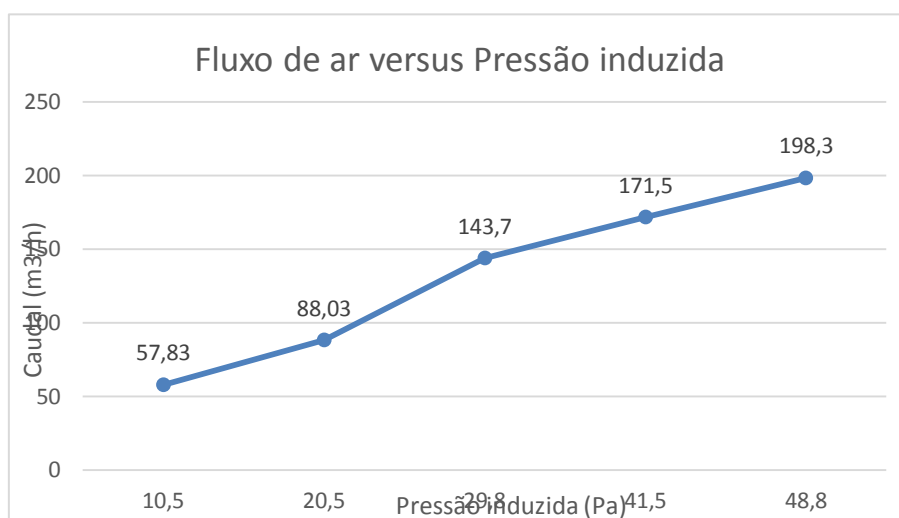


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

15 de Dezembro_NS_2	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	207,50	165,50	260,50	22,80%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	7,49	5,62	9,36	24,90%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	25,72	19,34	32,18	24,90%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	19,48	14,63	24,33	24,90%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SR	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 14:45
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
17,7	84	17,6	79,7	3,10	130,3

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a roldana inferior da fita de estore selada.

Resultados (ficheiro: 15Dez_SR_2)

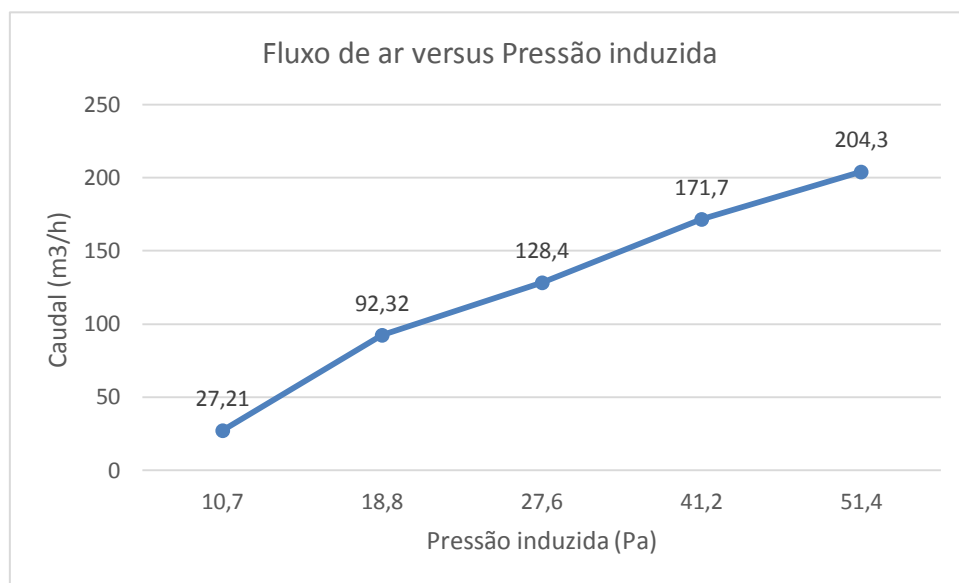


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

15 de Dezembro_SR_2	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	245,00	162,50	370,50	42,50%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	8,84	4,99	12,70	43,60%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	30,43	17,15	43,70	43,60%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	23,01	12,97	33,04	43,60%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SC	Data: 15 de Dezembro	Hora de início: 14:25
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
17,4	83,1	18	73,8	3,4	137,6

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a caixilharia da janela selada.

Resultados (ficheiro: 15Dez_SC_2)

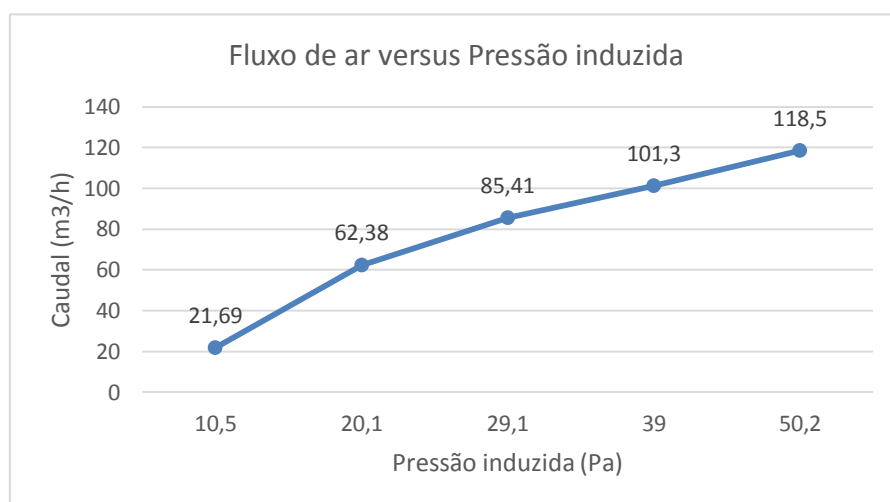


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

15 de Dezembro_SC_2	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	139,50	96,20	202,00	38,00%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	5,03	3,06	7,01	39,30%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	17,30	10,51	24,10	39,30%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	13,08	7,94	24,10	39,30%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_NS	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 11:15
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21,6	46,1	12	77	2,2	74

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, sem nada selado.

Resultados (ficheiro: 21Dez_NS)

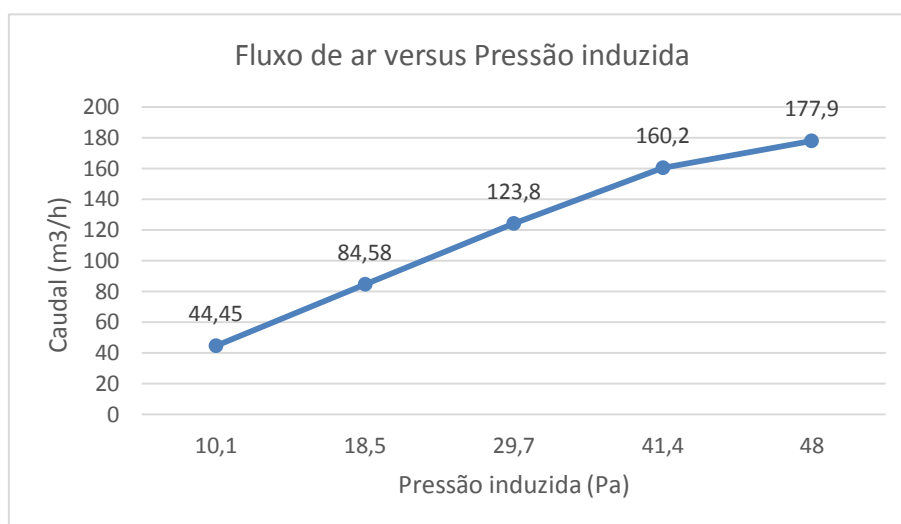


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

21 de Dezembro_NS	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	194,50	177,50	212,50	8,90%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	7,01	6,07	7,95	13,40%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	24,11	20,87	27,34	13,40%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	18,23	15,78	20,67	13,40%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SR	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 11:30
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21,3	49,1	12,6	75,1	2,4	71,3

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a roldana inferior da fita de estore selada.

Resultados (ficheiro: 21Dez_SR)

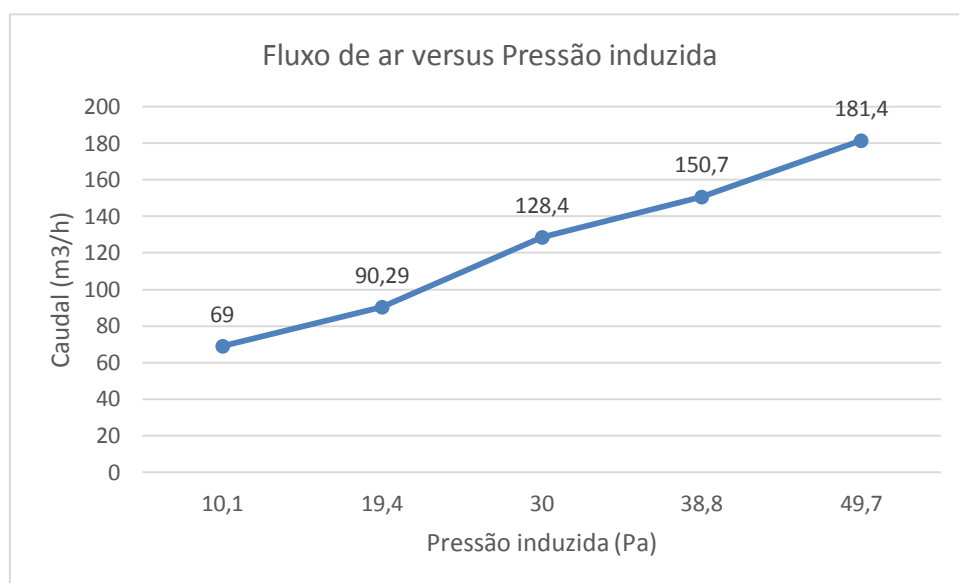


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

21 de Dezembro_SR	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	178,00	152,50	207,50	15,50%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	6,41	5,23	7,60	18,40%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	22,07	18,00	26,14	18,40%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	16,69	13,61	19,76	18,40%

Tabela – Dados de testes combinados

Ficha de Ensaio

Referência de Ensaio: TMM_ED_SC	Data: 21 de Dezembro	Hora de início: 11:40
---	-----------------------------	------------------------------

Condições atmosféricas:

Interior		Exterior			
Temp.(C°)	Hum. Rel.(%)	Temp.(C°)	Hum.Rel. (%)	Vel. Vento (m/s)	Dir. Vento (°)
21,1	49,1	13,2	72,6	2,2	76,7

Descrição do ensaio

Ensaio de despressurização (ED) para pressões de 10Pa a 50Pa, com a caixilharia da janela selada.

Resultados (ficheiro: 21Dez_SC)

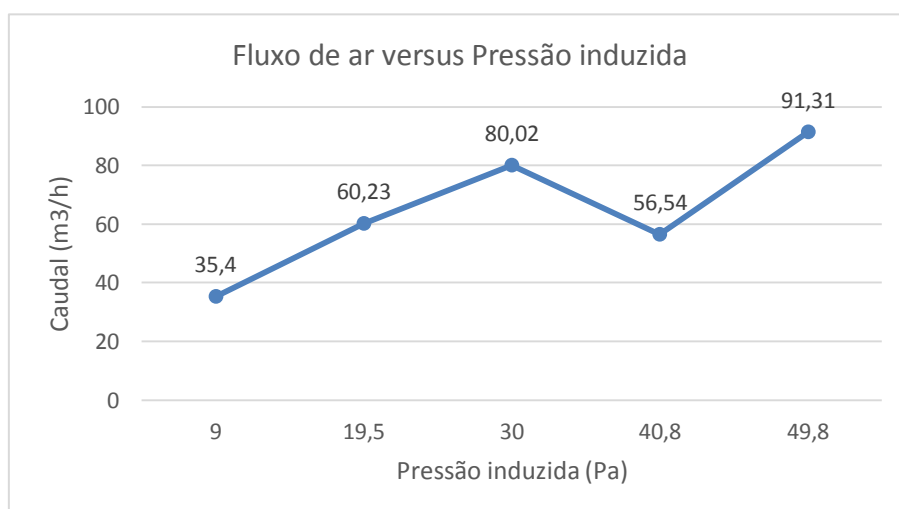


Gráfico – Fluxo de ar vs Pressão induzida

21 de Dezembro_SC	Resultados	Intervalo de confiança		Incerteza
Fluxo de ar a 50 Pa, V ₅₀ [m³/h]	84,25	52,45	135,00	49,10%
Modificação do ar a 50 Pa, n ₅₀ [/h]	3,04	1,52	4,56	50,10%
Permeabilidade a 50 Pa, q ₅₀ [m³/h.m²]	10,45	5,21	15,69	50,10%
Fuga específica a 50 Pa, w ₅₀ [m³/h.m²]	7,90	3,94	11,87	50,10%

Tabela – Dados de testes combinados

